УДК 624.131

Полканов В.Н.[1], Кырлан А.В.[1], Чебан О.С.[1], Фуниеру Н.Г.[1]

К вопросу изучения длительной прочности неоген-четвертичных глинистых грунтов Молдовы

Abstract

The research aims for continuous learning of the nature of clayey soils strength of Moldova. Mechanical properties were studied on shear devices in different speed modes of tests. For studied soil, it was determined how the deformation degree of the clays and the presence of natural weakened zones influence the value of critical shear deformation. As result, were obtained the values of "the creep threshold" that define the character of the possible development of slope deformations. It was determined, that the diminution of the shear speed entails soil strength decrease (up to 25%).

It is proposed to develop a simplified method, which will permit experts to determine long-term strength, corresponding to the building lifespan, without conducting lasting and expensive experiments.

Keywords: *clay soils, creep threshold, long-term strength.*

Rezumat

Studiul este direcționat spre cunoașterea continuă a naturii rezistenței pămînturilor argiloase ale Moldovei. Proprietățile mecanice (de rezistență) au fost studiate efectuînd încercări cu ajutorul aparatelor de forfecare pentru diferite regimuri de viteză. A fost stabilită influența gradul de deformabilitate a argilelor și prezența zonelor slabe asupra valorilor deformațiilor critice la forfecare. Au fot obținute valorile „limitei curgerii lente", ce definesc natura posibilelor deformații pe versanți. A fost stabilită reducerea rezistenței pămînturilor (pînă la 25%) odată cu scăderea vitezei de forfecare.

Se propune elaborarea unei metode simplificate cu ajutorul căreia se va putea stabili rezistența de lungă durată, ce ar corespunde duratei de exploatare a construcției fără a efectua încercări de lungă durată și costisitoare.

Cuvinte cheie: *pămînturi argiloase, limita de curgere, rezistența de lungă durată.*

Резюме

Исследование направлено на дальнейшее познание природы прочности глинистых грунтов Молдовы. Прочностные свойства изучались на сдвиговых приборах при различном скоростном режиме проведения испытаний. Для изученных разновидностей, установлено влияние степени деформированности глин и наличия естественных зон ослабления на величину критических деформаций сдвига. Получены значения "порога ползучести", определяющие характер возможного развития деформаций на склоне. Установлено снижение прочности грунта (до 25%), с уменьшением скорости сдвига.

Предлагается разработать упрощенную методику, с помощью которой специалисты смогут определить длительную прочность, отвечающую сроку службы сооружения, не проводя длительные и дорогостоящие опыты.

Ключевые слова: *глинистые грунты, порог ползучести, длительная прочность.*

[1] Технический Университет Молдовы

Введение

Длительная прочность является одним из наиболее важных и до конца не изученных вопросов механики грунтов. Практически с первой половины прошлого столетия и до настоящего времени в области реологии глинистых грунтов возникает множество споров [1-5]. Возникающие в этом вопросе неясности являются результатом недостаточно точной формулировки методики опытов, а также самой постановки вопроса. В одних случаях при проведении опытов отмечалось снижение прочности глинистых грунтов во времени, в других, наоборот, повышение [6]. В одной из последних работ П.А. Ляшенко [7] предлагает изучать природу сцепления и внутреннего трения глинистых грунтов с помощью построения модели поверхности скольжения. В рамках представленной модели рост скорости деформации трактуется, как перемещение группы контактов по участку поверхности скольжения, а уменьшение скорости - как огибание поверхностью скольжения группы наиболее крупных зёрен. Регистрация деформации с малым шагом (не более 0,005 мм) позволяет использовать испытание образца для определения характеристик микроструктуры и коэффициентов сдвиговой прочности Ш. Кулона. Поэтому, дальнейшее познание природы прочности грунтов, в том числе основанное на изучении особенностей строения глинистых грунтов, является одной из актуальных задач, требующей своего разрешения.

Выполненные ранее различными производственными организациями исследования, накопленный практический опыт и теоретические материалы по изучению природы прочности глинистых грунтов показывают, что единства мнений не существует. Задача усложняется необходимостью учёта региональных особенностей строения покровных отложений, представленных, в основном, песчано-глинистыми породами неоген-четвертичного возраста. В условиях природного залегания прочность покровных отложений зависит от целого ряда факторов. Определяющим, на наш взгляд, при прочих равных условиях, является стадия развития оползневого склона [8, 9]. В силу этого, прочностные характеристики в зоне оползневого смещения, скорость ползучести (скорость вязко-пластического течения) следует рассматривать, как взаимно определяющие понятия. Целью настоящих исследований явилось дальнейшее изучения природы прочности неоген-четвертичных покровных отложений Молдовы.

1. Приборы, оборудование, методика проведения испытаний

В разработке методики исследования длительной прочности за последние десятилетия не произошло сколько-нибудь существенных открытий, позволяющих рекомендовать производственным организациям отказаться от длительных и дорогостоящих методов. Определённым решением вопроса может явиться накопление и обобщение данных экспериментального определения параметров длительной прочности для различных типов грунтов, проведённых по уже существующим методикам на одинаковых по типу приборах. При наличии противоречивых взглядов на вопросы длительной прочности, естественно, возникла необходимость в проведении дополнительных исследований.

Изучение физических свойств исследуемых грунтов проводилось по стандартным методам. Для изучения прочности использовались приборы прямого среза. Опыты проводились по методу “быстрого сдвига”, а также по методу «с постоянной скоростью деформирования» [4]. Скоростной режим испытаний изменялся от $v = a \cdot 10^{-5}$ см/с до $v = a \cdot 10^{-8}$ см/с.

2. Результаты выполненных исследований и их обсуждение

Исследования проводились на двух опорных участках: участок 1 - выемка на ПК 14406... ПК 14409 автодороги М21; участок 2 - оползневой склон на окраине с. Порумбрей.

Результаты определения физических характеристик грунтов, отобранных с первого участка, представлены на рис. 1, 2.

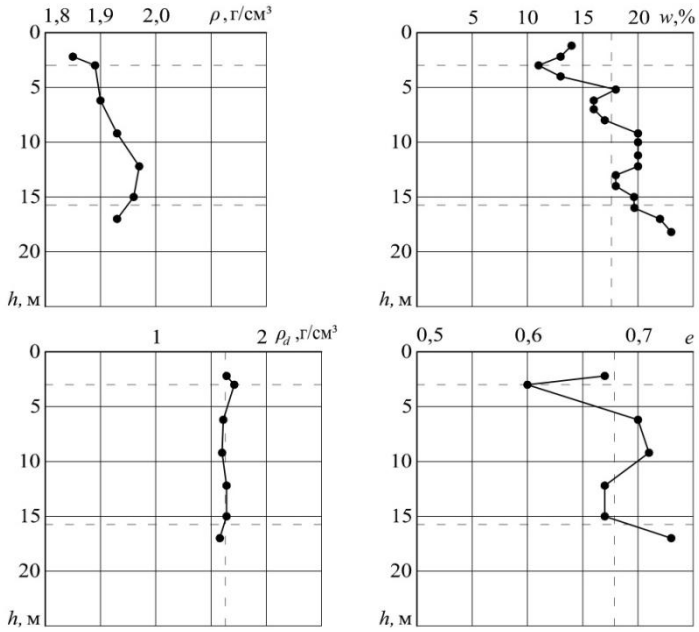


Рис. 1. Графики рассеивания физических характеристик грунта по глубине.

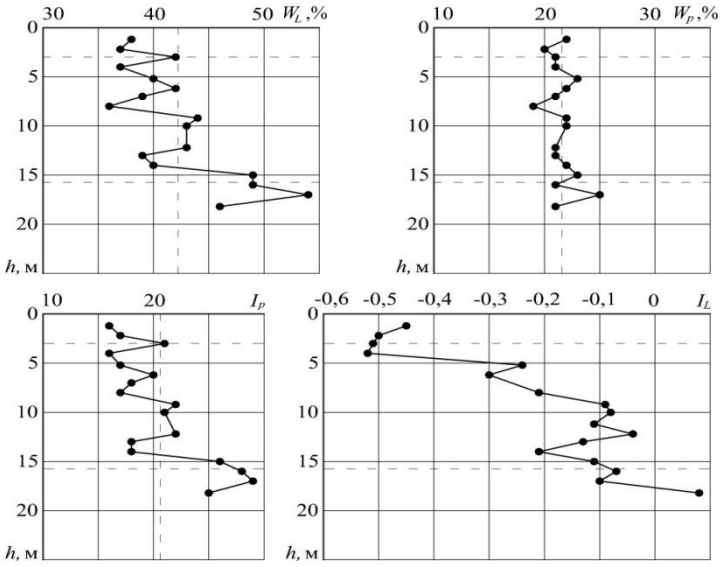


Рис. 2. Графики рассеивания характеристик пластичности грунта по глубине.

Все исследуемые грунты в разной степени окарбонатизированы. Несмотря на несколько завышенные значения числа пластичности I_p, толща до глубины 15 м может быть отнесена к тяжелым суглинкам.

Верхняя толща суглинков до глубины 3 м окрашена в более светлые тона, сильно окарбонатизирована, характеризуется повышенной влажностью. Нижняя часть исследуемой толщи (до глубины 15 м) представлена краснобурыми суглинками.

Результаты определения параметров прочности представлены на рис. 3.

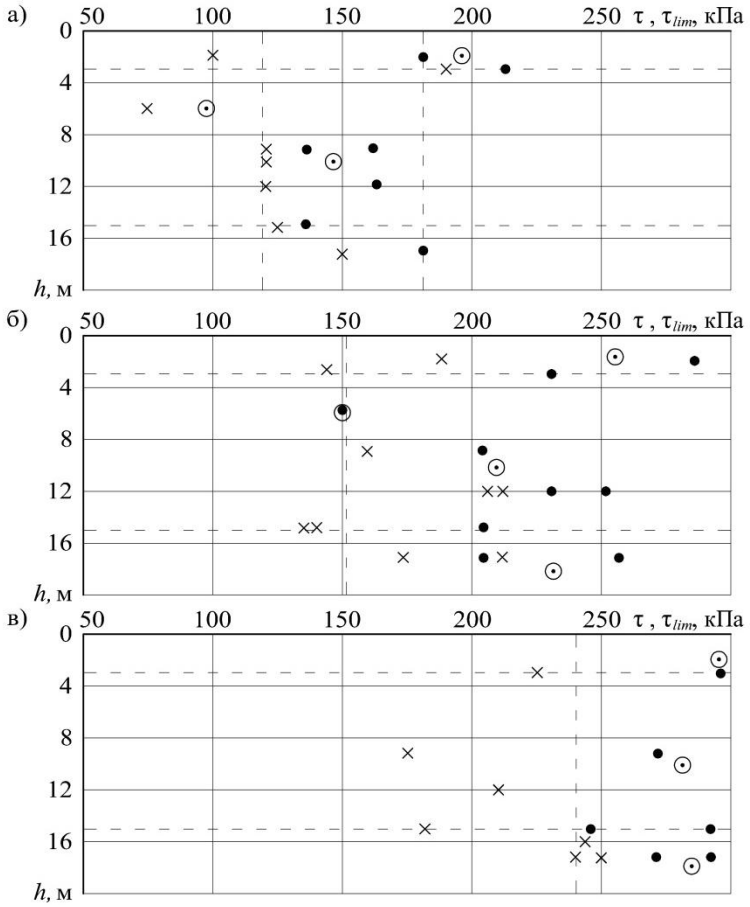


Рис. 3. График рассеивания сопротивления сдвигу с глубиной.

а) σ=100кПа; б) σ=200кПа; в) σ=300кПа;
● – критическое сопротивление сдвигу,
τ; × – предельное сопротивление сдвигу,
τ_{lim}; ⊙ – τ_{mt} для выделенных глубин.

В естественном состоянии, как ранее отмечалось, большинство испытанных образцов окарбонатизированы, имеют твердую консистенцию и обладают значительным структурным сцеплением. Это во многом определяет характер деформирования грунта в процессе сдвига и, в ряде случаев, затрудняет выбор начальной критической нагрузки, необходимой для построения графиков сдвига и

назначения расчетных показателей прочности с учетом временного фактора. Поэтому выбор пределов прочности осуществлялся по графикам, построенных на основе значений начальных критических напряжений, определенных по графикам вида $\lambda = f(\tau)$ (рис 4). Это позволило получить значения прочностных характеристик отличные от значений, определяемых по предельно допустимым нагрузкам.

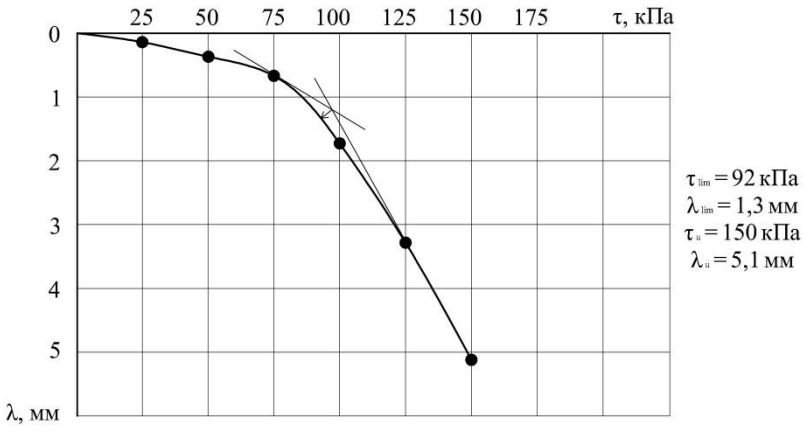


Рис. 4. Графики вида $\lambda = f(\tau)$ Естественная поверхность. Суглинок тёмно-бурый. Скв. 127, h = 6 м.

Установлено, что даже в пределах одного уплотняющегося давления критическая деформация лежит в пределах 1,5...5,8 мм. Наличие микрозон ослабления и, особенно, зеркал скольжения во многом предопределяет значение критической деформации сдвига.

В естественном состоянии грунты обладают сравнительно невысокой природной влажностью, увеличивающейся с глубиной от 12 до 24 %. Влажность более 20 % наблюдалась с глубины более 8 м. С этой глубины также отмечается увеличение плотности грунта: ρ=1,85...1,92 г/см^3 (до глубины 8 м) и ρ=1,95...1,97 г/см^3 (на глубине более 8 м), а также увеличение степени влажности S_r – до 0,84. Коэффициент пористости изменяется незакономерно, среднее значение составляет 0,730. С глубиной наблюдается рост значений влажности на границе текучести (от 36 до 50 %), числа пластичности (от 15 до 30) и показателя текучести (от -0,45 до 0,08). Грунты изучаемой толщи до глубины 18 м находятся в твердом состоянии.

По данным рекогносцировочных обследований и предварительной обработке результатов лабораторных испытаний грунтов, в глинистой толще было выделено четыре разновидности, соответствующие глубине залегания: 1-3 м, 3-7 м, 7-15 м и более 15 м. На глубине 12 м для образцов с зафиксированными зеркалами скольжения величина деформации составляет 1,5 мм (при $\sigma = 100$ кПа). Интересно отметить, что в интервале давлений 100 - 300 кПа предельная деформация практически не зависит от уплотняющего давления. Ее значение изменяются от 0,6 до 1,7 мм. В среднем, при $\sigma = 100$ кПа, эти показатели соответствуют значению критической деформации образцов с зеркалами скольжения.

Для образцов, отобранных с глубины 2-3 м при влажности 11-13 % и показателе текучести I_L=-0,50 характерна повышенная прочность (S=0,23σ+130, кПа), которая, естественно, может снижаться в процессе эксплуатации выемки, особенно при изменении режима увлажнения в зоне аэрации.

При испытании монолита, отобранного на глубине 6 м, несмотря на отсутствие видимых зон ослабления, были зафиксированы минимальные сдвигающие усилия. Полученное уравнение графика сдвига имеет вид $S = 0{,}23\sigma + 50$, кПа. Данное уравнение практически совпадает с уравнением, полученным для подготовленной поверхности: $S = 0{,}25\sigma + 50$, кПа. Это может быть объяснено потерей структурного сцепления за счет наличия микрозон ослабления формирующейся в откосе перемятой зоны.

Приближенные уравнения прочности для образцов в интервале глубин 7-15 м и более 15 м соответственно имеют вид: $S = 0{,}29\sigma + 100$, кПа и $S = 0{,}36\sigma + 120$, кПа.

Следует отметить, что несмотря на выявленные при проведении опытов на сдвиг в образцах грунта, отобранных с глубин 10-15 м, зоны ослабления, влияние последних практически не сказалось на значениях разрушающих усилий. Это можно объяснить значительной окарбонатизированностью образцов. Тем не менее, наличие возможных зон ослабления на отмеченных глубинах должно учитываться при выборе расчетной схемы для оценки длительной устойчивости откосов проектируемой выемки.

Для установления степени влияния на прочность исследуемых грунтов возможного дополнительного увлажнения, а также выявления характера зависимости их прочности от консистенции, часть образцов была помещена во влажный песок. Образцы выдерживались в ящиках с влажным песком от 3-х до 33-х суток. Это позволило испытать образцы в диапазоне полутвердой, тугопластичной и пластичной консистенции.

Для образцов, отобранных с глубин 3-15 м, были построены точечные графики рассеивания вида $\tau = f(I_L)$ (рис. 5).

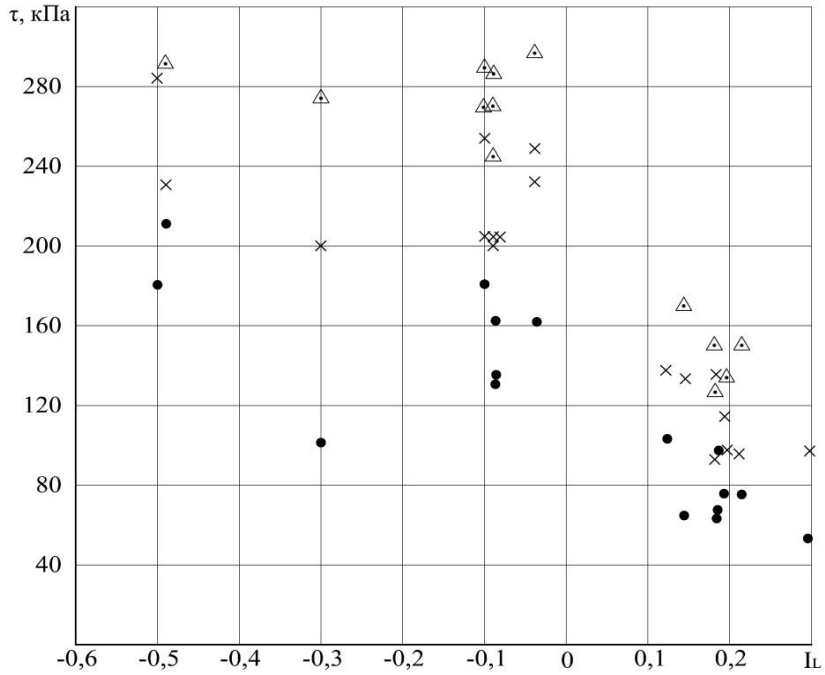


Рис. 5. График рассеивания сопротивляемости сдвигу от показателя текучести.
● – *σ = 100 кПа;* × – *σ = 200 кПа;* △ – *σ = 300 кПа.*

Результаты испытаний подтверждают неоднократно высказываемую Тимофеевой Т.А. и Полкановым В.Н. [6] мысль о том, что при природной влажности в интервале твердой консистенции в первую очередь проявляется влияние фактора дискретности, отражающего структурно-текстурные особенности грунта и степень нарушения структурных связей за счет естественных зон ослабления, определяющих характер деформирования жестких глин и перекрывающего влияние на прочность в массиве плотности, влажности и консистенции. Это характерно не только для большинства изученных оползневых неоген-четвертичных глинистых пород Молдовы, но и неогеновых глин Одессы и Кавказа, слагающих оползневые склоны. Фактор консистенции, отражающий роль связности в общем сцеплении и коэффициенте вязкости, начинает проявляться при переходе образцов из твердого в полутвердое и тугопластичное состояние, и в большей мере определяет характер деформирования пластичных глин. Приближенную зависимость $\tau = f(I_L)$ оказалось возможным построить для образцов, испытанных по подготовленной поверхности сдвига, моделирующей потерю структурного сцепления. Используя метод плотности-влажности проф. Н.Н. Маслова [4] получены приближенные зависимости угла внутреннего трения и сцепления связности от консистенции (рис 6).

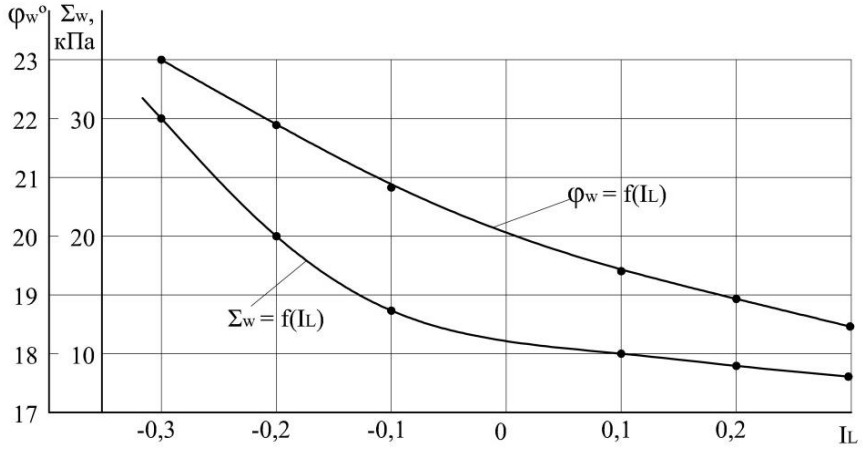


Рис. 6. Зависимость угла внутреннего трения (φ_w) и связности (Σ_w) от консистенции.

Анализ этих зависимостей показывает, что повышение консистенции в большей степени сказывается на снижении связности. При природной консистенции $I_L = -0{,}20$ для толщи в интервале глубин 3-5, угол внутреннего трения и сцепление связности соответственно равны $\varphi = 22°$; $\Sigma_w = 20$ кПа; после водонасыщения при $I_L = 0{,}17$, $\varphi = 19°$, $\Sigma_w = 10$ кПа. Вместе с тем отмечается, что с ростом консистенции возможно дальнейшее снижение угла внутреннего трения, тогда как падение сцепления связности практически прекращается.

Для окончательного выяснения характера зависимости необходимо провести испытания грунтов пластичной консистенции.

Для образцов грунта отобранных на оползневом склоне, расположенном на окраине с. Порумбрей (участок 2), проводились длительные опыты с целью

определения порога ползучести, а также для изучения влияния скорости и режима испытаний на значения прочности исследуемых грунтов.

На образцах естественной структуры было выполнено 11 длительных испытаний. Продолжительность опытов составляла от 7 часов до 62 суток. Результаты исследований обобщены в табл.1.

Таблица 1

Определение порога ползучести по опытам "с постоянной скоростью"

Объект	Скважина	Глубина отбора монолита h, м	Тип грунта	Консистенция грунта I_L, дол.ед.	Нормальное давление σ, kПа	Величина деформация λ, мм	Продолжитель-ность опыта t, час	Критическое сдвигающее усилие τ, kПа	Порог ползучести τ_{lim}, kПа	Скорость проведения испытаний v, см/с
Обход с. Порумбрей	18	12,5	1*	0,07	100	2,63	17,8	114	98	$8{,}3\cdot10^{-6}$
				0,04	200	2,23	7,2	180	165	
				0,01	300	2,85	7,0	140	126	
	19	5,7	2*	–0,08	100	1,60	840	150	130	$5{,}3\cdot10^{-6}$
				0,40	100	1,25	624	63	21	
				0,20	100		816	70	53	
	18	9,4	3*	0,30	100	1,3	672	71,5		$5{,}3\cdot10^{-8}$
	24	12,5		<0	200	2,09	1080	142,5		$5{,}3\cdot10^{-8}$
	14	12,3		0,30	100	6,28	864	92,5		$1{,}9\cdot10^{-7}$
	24	12,5		<0	100	2,00	1032	130		$5{,}3\cdot10^{-8}$
	12	12,0		0,35	100	3,40	1488	72,5		$6{,}4\cdot10^{-8}$

1 – Глина пылеватая пестроцветная;*

2 – Глина серовато-зелёная монолитная без зеркал скольжения;*

3 – Глина серовато-зелёная с округлыми включениями без признаков ожелезнения с зеркалами скольжения.*

Испытаниям со скоростью $v = 8{,}3\cdot10^{-6}$ см/с были подвергнуты образцы пылеватой пестро-цветной глины без видимых зеркал скольжения. Консистенция для большинства монолитов полутвёрдая: $I_L = 0{,}01 – 0{,}07$.

Как видно из табл.1 критическое сдвигающее усилие характеризуется высокими значениями. Это, на наш взгляд, свидетельствует о том, что при попадании в формирующуюся зону сдвига пылеватых частиц не происходит резкого снижения прочности в процессе развития деформации, а при достижении её критического значения происходит резкий скол.

Опыты со скоростью $v = 5{,}3\cdot10^{-6}$ см/с проводились на образцах серовато-зелёных монолитных глин без зеркал скольжения. Испытывались образцы естественной структуры, а также доувлажнённые в ящиках с мокрым песком. Это позволило расширить диапазон изменения консистенции испытуемых образцов грунта от твёрдой до туго-пластичной и проследить намечающийся характер изменения длительной прочности от показателя текучести.

Применительно к имеющимся опытам, используя также данные испытаний на быстрый сдвиг, были построены зависимости вида $S=f(v)$. Несмотря на естественный при испытаниях грунтов такого сложения разброс опытных значений, прослеживается зависимость снижения прочности грунта с уменьшением скорости сдвига. Для образцов, отобранных из коренной толщи, испытанных при давлении 100 и 300 кПа при изменении скорости с $v = a \cdot 10^{-3}$ см/с до $v = a \cdot 10^{-8}$ см/с прочность уменьшилась, соответственно, на 25 %: от 165 до 125 кПа при вертикальном давлении $p = 100$ кПа и на 23 %: от 225 до 175 кПа при $p = 300$ кПа.

Возможное снижение сцепления во времени отражено на рис. 7.

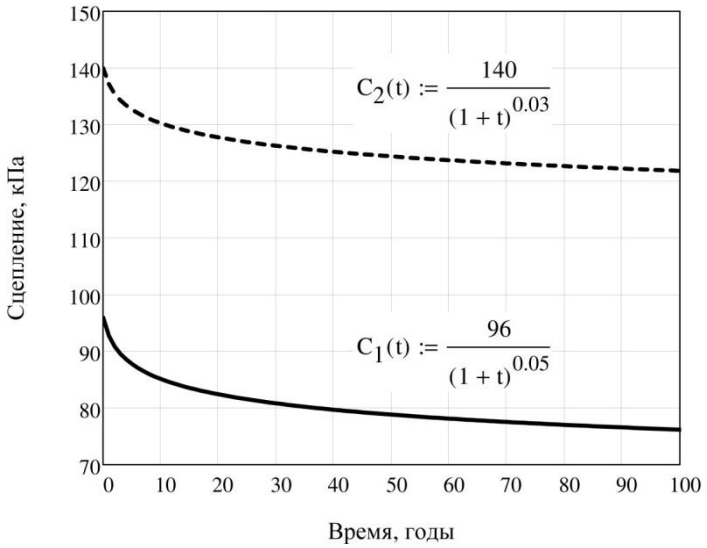


Рис. 7. Снижение сцепления во времени.

$C_1(t)$ – для глины пестроцветной комковатой;
$C_2(t)$ – для глины серовато-зелёной монолитной без зеркал скольжения.

Выводы

Уменьшение прочности в процессе снижения скорости деформирования лишний раз подчеркивает неопределённость формулировки понятия стандартной прочности грунта и, особенно, когда речь идёт об изучении прочности грунтов, неоднократно испытавших какую-то начальную деформацию, вызванную формированием склонов.

Выяснение механизма снижения прочности грунтов во времени под действием постоянно действующих касательных напряжений требует проведения дополнительных исследований. Ещё раз напомним, что единства мнений по этому вопросу нет. Безусловно, что производственники лишены возможности проведения сложных, длительных и дорогостоящих экспериментов. Это означает, что для выбора надёжных значений параметров длительной прочности необходимо разработать методику, которая позволит устанавливать “служебную прочность” с достаточной степенью достоверности.

Литература

1. Гольдштейн М.Н., Бабицкая С.С. Методика определения длительной прочности грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1959. – № 4. – с.11–14.
2. Гольдштейн М.Н., Туровская А.Я., Черненко Н.Б. О длительной прочности глинистого грунта в массиве на оползневых склонах // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1978. – № 5, с.16–19.
3. Исследования сопротивляемости сдвигу в зависимости от скорости деформации: Отчёт о НИР (заключительный) / Днепропетровский институт инженеров транспорта / Руководитель: М.Н. Гольдштейн. – Днепропетровск, 1962, 32 с.
4. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). – М.: Стройиздат, 1977, 320 с.
5. Осипов В.Н. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. – М.: Издательство московского университета, 1979, 232с.
6. Тимофеева Т.А., Полканов В.Н. Методы определения реологических свойств оползневых накоплений. – Кишинёв, КПИ им. С. Лазо: Деп. В ВИНИТИ. – №5, 1990, 26 с.
7. Ляшенко П.А. Природа сцепления и внутреннего трения глинистых грунтов // Геотехника Беларуси: Наука и Практика / Материалы международной научно-технической конференций. - Минск: БНТУ, 2013, 282-288
8. Полканов В.Н., Тимофеева Т.А., Иким Н.Г. К вопросу о методике определения длительной прочности неогеновых глин Молдовы при оценке устойчивости склонов и откосов // Труды Международной НТК: Проблемы строительного комплексов – Брянск, 1998, 16–19 ноября 1998, с. 371–374.
9. Тимофеева Т.А., Полканов В.Н. Исследование длительной прочности сарматских глин Молдовы // Известия ВУЗов: Строительство. – 1992. – №7, 8, с. 145–147.

Primit la redacţie – 30 iunie 2016

УДК: 502.541.183

Болотин О.А., Самохвалов Н.И., Петухов О.М.,[1] Русу М.[1]

Регенерация отработанного технического масла природным глинистым сорбентом месторождения Молдовы

Abstract

The possibilities of contact adsorption purification of waste transformer oil containing natural morillonitemont sorbent were investigated. The optimal conditions for regeneration were established. IR spectroscopy showed that during the oil purification the oxidation products are removed while preserving the basic components determining the utility of the product.

Keywords: *montmorillonite sorbent, transformer oil, regeneration.*

Rezumat

Au fost studiate capacitățile absorbantului natural montmorillonit de purificare prin contact-adsorbție a uleiului de transformator prelucrat deșeurilor care conțin. Au fost stabilite condițiile optime pentru regenerare. Spectroscopie IR a arătat că în rezultatul purificării uleiului produsele oxidării sunt eliminate, păstrând în același timp componentele de bază, ce determină gradul de utilitate a produsului

Cuvinte cheie: *absorbant morillonitemont, ulei de transformator, regenerare.*

Резюме

Исследованы возможности адсорбционной контактной очистки отработанного трансформаторного масла природным монтмориллонитсодержащим сорбентом. Установлены оптимальные условия регенерации. Методом ИК-спектроскопии показано, что в результате очистки масла удаляются продукты окисления при сохранении основных компонентов, определяющих эксплуатационную пригодность продукта.

Ключевые слова: *монтмориллонитсодержащий сорбент, трансформаторное масло, регенерация.*

Решение проблем загрязнения окружающей среды продуктами жизнедеятельности и промышленными отходами – одна из важнейших задач охраны окружающей среды. К продуктам жизнедеятельности современного общества относятся и отработанные смазочные материалы, в том числе различные масла.

Минеральные масла в процессе эксплуатации претерпевают глубокие изменения в результате накопления в них продуктов окисления и деструкции углеводородной основы, продуктов уплотнения смол, а также продуктов износа и коррозии конструкционных материалов и внешних загрязнений. Очистка и регенерация масел являются наиболее перспективными направлениями вторичного использования ресурсов, решающими проблемы как экономического, так и экологического характера. [1].

[1] Институт Химии АНМ.

При возрастающем росте расходов на транспорт и обслуживание централизованного сбора отработанных масел, а также разнообразия технологий очистки последних, становится нерентабельным восстанавливать их с использованием крупных промышленных установок, потребляющих огромные сырьевые ресурсы. Целесообразно регенерировать масла вблизи их потребления. Эффективным при этом является экономически выгодный и экологически безопасный адсорбционный метод очистки [2].

Как было уже показано [3] клейкие пески севера Молдовы содержат примесь глинистого вещества, которое может быть использовано как адсорбент. Одним из возможных его применений является использование при регенерации трансформаторных масел.

Материалы и методы

Для изучения процесса адсорбционной регенерации отработанного трансформаторного масла были использованы образцы глинистой составляющей «клейких» песков месторождения Волчинец (Атакский район). Минеральный состав образца был изучен ранее [3]. Текстурные характеристики используемого образца минерала для регенерации трансформаторного масла определяли методом низкотемпературной адсорбции азота (77 К) с использованием автоматического анализатора ACTOSORB-1. Регенерацию отработанного трансформаторного масла природным глинистым сорбентом проводили контактным способом по следующей методике: в стаканчик на 50 мл заливали 30 мл отработанного масла и засыпали сорбент, предварительно прокаленный при 200^0С в течение 1 часа для удаления физически адсорбированной влаги. Крупность образцов сорбента составляла 0,25 мм. Скорость вращения мешалки – 60 об./мин. Температура мешалки регулировалась в интервале 60-80^0С. Продолжительность регенерации 1-2 часа, соотношение сорбент-масло – 5, 15, 25%. Эффективность регенерации трансформаторного масла (ТК) определялась показателем кислотного числа (КЧ). Для определения происходящих изменений в масле в процессе очистки использовался метод ИК-спектроскопии. Спектры регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре Перкин-Элмер PE-100 в области 4000-650 см $^{-1}$ (фундаментальная и видимая ИК-область).

Результаты и обсуждение

Текстурные характеристики

На рис. 1, 2 представлены изотермы адсорбции-десорбции азота на монтмориллонит-каолинивом образце, используемом в качестве сорбента, а также диффракциальные кривые распределения объема пор по радиусам, полученные исходя из изотермы адсорбции. Как видно из рис. 1, изотерма адсорбции-десорбции относится к типу H_3 по классификации Международного союза по теоретической и прикладной химии (JUPAC) и является типичной для мезопористых сорбентов [4]. Форма петли гистерезиса на изотерме свидетельствует о наличии щелевидных пор в сорбенте [5], на что указывает уступ на десорбционной ветви в области 0,5 *P/Po*. При *P/Po* в области 1 на изотерме прослеживается резкий подъем сорбционной кривой, что указывает, вероятно, на наличие в образце сорбента крупных пор (табл. 1) Этот факт подтверждается кривой распределения пор по размерам (рис. 2).

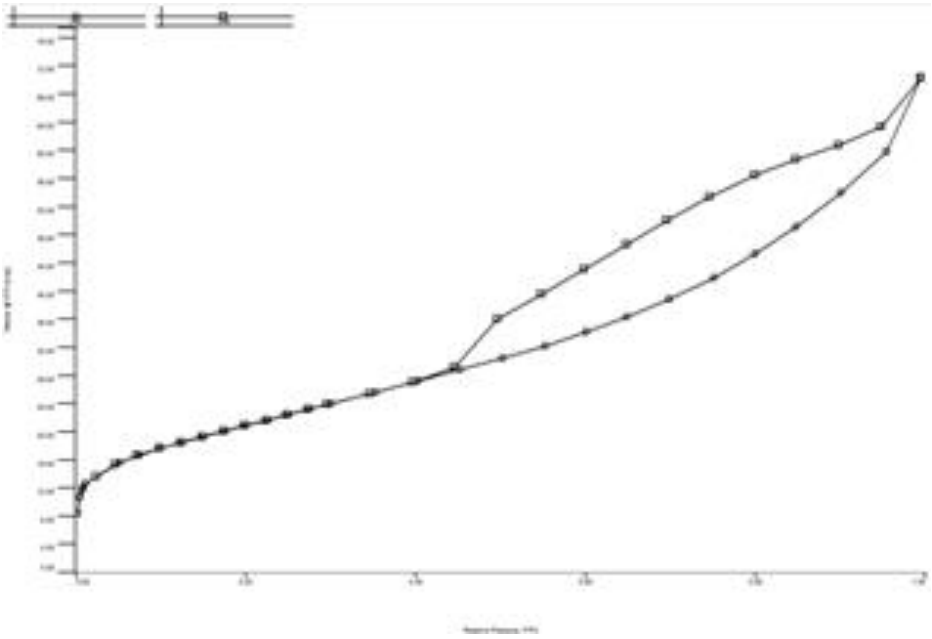


Рис. 1 Изотерма адсорбции-десорбции зота (77 К)
для глинистой составляющей «клейких» песков мест. Волчинец.

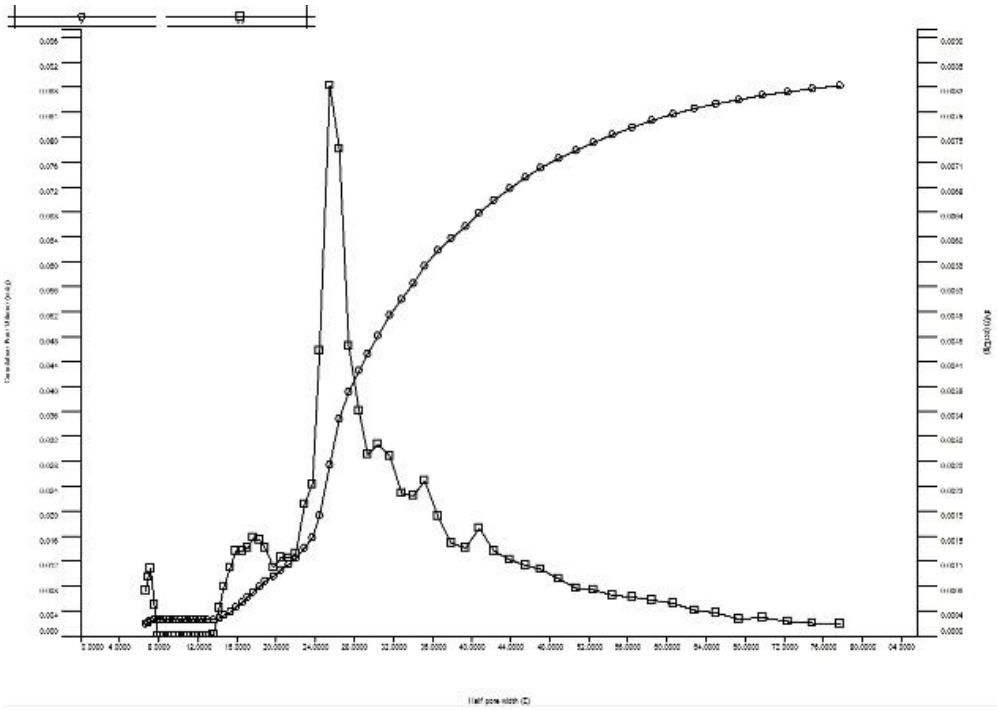


Рис. 2. Дифференциальные кривые распределения пор по радиусам
для глинистой составляющей «клейких» песков мест. Волчинец

Таблица 1

Текстурная характеристика сорбента

Наименование	$Syd._{BFT,}$ м^2/г	Vs, см^3/г	$V\mu$, см^3/г	$r_{эфф}$, А
Значение	75,02	0,109	0,007	22,6

Syd. – удельная поверхность;
Vs – объем мезопор;
Vμ - объем микропор;
$r_{эфф}$, – эффективный радиус пор.

Анализ изотермы адсорбции – десорбции азота на сорбенте месторождения Волчинец, а также дифференциальных кривых распределения пор по радиусам, показал преобладание мезопор, размер которых составляет от 24 нм до 42 нм, преобладающий размер пор 25 нм.

Изложенное выше помогает в интерпретации причин действенности выбранного нами сорбента в процессее очистки трансформаторного масла.

Инфракрасная спектроскопия

При появлении в масле кислорода и воды, трансформаторное масло окисляется даже при идеальных условиях. На состояние изоляционного масла также влияют загрязнения, появляющиеся от твердых материалов трансформатора, которые растворяются в масле [6].

Целью очистки (регенерации) трансформаторного масла ТК является извлечение из него влаги, кислот, механической грязи, а также непредельных углеводородов, асфальто-смолистых веществ, сернистых и азотистых соединений.

Одним из удобных методов исследований физико-химического состава масел является оптическая спектроскопия. В частности высокоинформативно исследование спектров пропускания (поглощения) в видимой, ближней и средней ИК областях спектра. Для количественной оценки окисленности масел удобно использовать поглощение на длине волны 1710-1715 см$^{-1}$, относящейся к полосе поглощения карбоновых кислот [7].

Нами было проведено исследование образца отработанного трансформаторного масла, подвергнутого регенерации с использованием глинистого сорбента в зависимости от времени обработки и соотношения сорбент – масло.

ИК-спектры отработанного и регенерированного трансформаторного масла приведены на рис. 3, 4. Для исследования были взяты 7 образцов масел, краткая характеристика которых приведена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика исследованных в ИК-области образцов трансформаторного масла

Описание	Время обработки, час	Соотношение сорбент-масло, %	Кислотное число, мг КОН/г
Исходное отработанное масло			0,077
Отработанное масло, обработанное сорбентом	1	5	0,039
-,,-	1	15	0,036
-,,-	1	25	0,019
-,,-	2	5	0,021
-,,-	2	15	0,012
-,,-	2	25	0,00

Следует отметить, что спектр свежего масла содержит только полосы валентных колебаний С – Н – связей 2854 и 2924 см$^{-1}$ и деформационных колебаний при 1458 и 1377 см$^{-1}$ [8].

Как видно из ИК-спектров трансформаторного масла, очищенного глинистым сорбентом месторождения Молдовы (с. Волчинец), помимо указанных полос поглощения, прослеживаются такие как 722,1605 см$^{-1}$, обусловленные ароматическими соединениями.

В процессе эксплуатации масел происходит увеличение их ароматичности [9], что обнаруживается на рис. 2 в области 1940-1840 см$^{-1}$. В этой области все ароматические соединения имеют группу полос, число и положение которых определяются типом замещения бензольного кольца. Так наибольшее поглощение ароматическими соединениями характерно для масел № 1 и № 2, имеющих наибольшее кислотное число (таблица 2). Изменение концентрации ароматических углеводородов наглядно (Рис. 3) прослеживается на частоте 1605 см$^{-1}$, характеризующей скелетные колебания С – С цикла ароматических углеводородов [9]. По интенсивности пиков поглощения карбонильной группы С = 0 кислот (1714 см$^{-1}$) можно судить о кислотном числе масла. Так у образца № 7 кислотное число имеет самое низкое значение (таблица 2), что соответствует слабой интенсивности полосы поглощения при 1714 см$^{-1}$ (рис. 2), а для образца № 1 с самым высоким кислотным числом интенсивность этой полосы поглощения минимальная.

Полоса поглощения около 1936 – 1937 см$^{-1}$ говорит об образовании при окислении моно- и 1,2-ди-замещенных бензолов [9]. И снижение интенсивности до минимума этой полосы поглощения для образцов № 4 и № 7 (рис. 4) свидетельствует об адсорбции бензолов бентонитовым сорбентом.

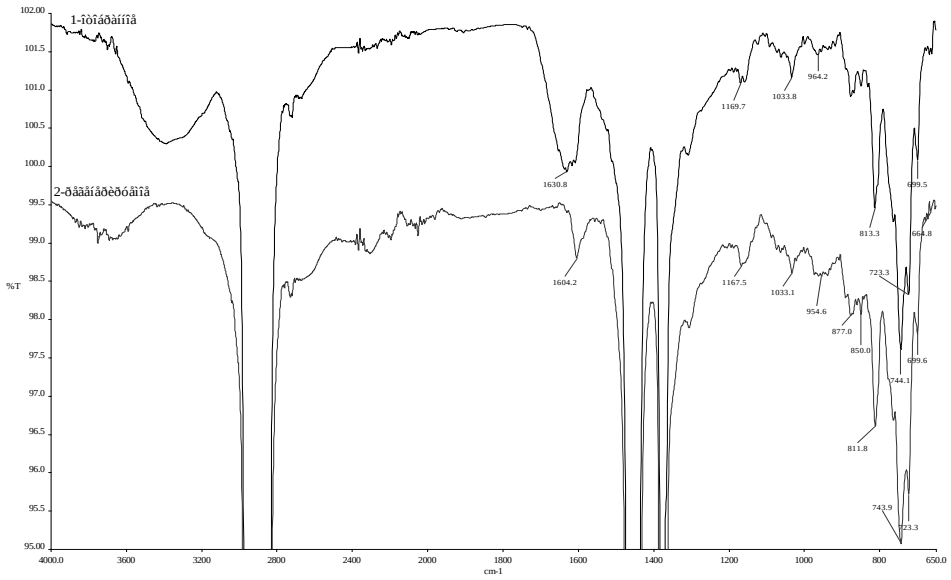


Рис. 3. ИК-спектры исходного отработанного трансформаторного масла (1), и регенерированного трансформаторного масла (2), имеющих наибольшее кислотное число.

Рис. 4. ИК-спектры отработанного трансформаторного масла (1) и масла, обработанного сорбентом при различных условиях (2,3,4,5,6,7).

Следует заметить, что появление в маслах непредельных и ароматических углеводородов, которые убираются при очистке не полностью, говорит о том, что при регенерации не восстанавливается полностью исходный углеводородный состав, и склонность к окислению у регенерированного масла будет выше, чем у свежего масла [9]. Тем не менее, как следует из результатов определения кислотного числа и ИК-спектров отработанного трансформаторного масла, очищенного с использованием монтмориллонитсодержащих сорбентов, в результате регенерации масла удаляются продукты окисления при сохранении основных компонентов масла, определяющих эксплуатационную пригодность продукта. Очистка и регенерация масел являются наиболее перспективными направлениями вторичного использования ресурсов, решающими проблемы как экономического, так и экологического характера.

Изучение процессов, происходящих при взаимодействии адсорбента и трансформаторного масла показало, что на поверхности адсорбента протекает как физическая адсорбция (поглощение микрочастиц, взвешенных в масле – изменение оптической плотности и цветности) и в этом случае преобладающую роль в процессе адсорбции играет удельная поверхность адсорбента, так и химическое взаимодействие, где решающую роль играет природа адсорбента.

Выводы

Исследованы адсорбционно-структурные характеристики природного алюмосиликата (глинистой составляющей «клейких» песков) Волчинецкого месторождения Атакского района Молдовы и показано, что данное сырье характеризуется преобладанием мезопор, размер которых составляет от 24 до 42 нм, преимущественный размер пор 25 нм. Отмечается и наличие щелевидных и крупных

пор. Можно предположить, что для адсорбции окисленных компонентов отработанного трансформаторного масла характерно дисперсионное взаимодействие за счет относительно большой удельной поверхности (75 $м^2/г$) и специфического взаимодействия в мезопорах с поверхностными функциональными группами (имеющими кислую природу). Установлены оптимальные режимы регенерации, обеспечивающие получение трансформаторного масла с кислотным числом равным 0,012 мг КОН/г: температура 80^0С, соотношение сорбент – масло 15% масс, продолжительность регенерации 2 часа. Методом ИК-спектроскопии показано, что в результате регенерации масел удаляются продукты окисления при сохранении основных компонентов масла, определяющих эксплуатационную пригодность продукта. Таким образом показано, что природный алюмосиликат Волчинецкого месторождения является адсорбционно-активным материалом и при его использовании решается проблема охраны окружающей среды и рационального использования трансформаторных масел.

Литература

1. Коваль Е.О., Богомолов М.С., Майер Э.А., Бондалетов В.Г. Адсорбционная очистка отработанного трансформаторного масла с использованием промышленных монтмориллонитсодержащих сорбентов. Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 3, с. 86-90.
2. Филипенко В.Ю., Корчагин В.А., Филоненко Ю.Я. Регенерация отработанных масел природными глинистыми сорбентами Линецкого месторождения. Труды 3-й Международной конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы современной науки», часть 8. Секция: Экология. Самара, 2002, 40 с.
3. Болотин О.А., Самохвалов Н.И., Русу М.И. Особенности минералогического состава глинистой составляющей клейких песков месторождения Волчинец. Buletinul Institutului de Geologie şi Seismologie al AŞM, № 2, 2014, с. 47-55.
4. Хансаева С.Ц., Дашинатжилова Э.Ц., Рампилова В.В. Влияние термообработки на текстурные свойства монтмориллонита. Вестник Бурятского государственного университета. 2011, № 3, с. 134-138.
5. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука, 1999, 470 с.
6. Очистка трансформаторных масел. Силикагель РУ. http//silikagel.ru/ochistka-masel/tm.
7. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Диагностика маслонаполненного электрооборудования // Материалы Всерос.конф. «Научно-исследовательские проблемы в области энергетики и энергосбережения». Уфа, 2010, с. 41-42.
8. Андрихова Н.П. Использование гранулированного диатомита в регенерации отработанного масла // Фундаментальные исследования. 2004. № 6, с. 62.
9. Гарафуллин М.Ш. Использование методов оптической спектроскопии для диагностики минеральных изоляционных масел // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 (часть 15), с. 3299-3304.

Primit la redacţie – 10 martie 2016

УДК 541.183.6

Болотин О.А., Самохвалов Н.И., Сюткин С.В., Русу М.И.[1]

Получение и исследование сорбентов из обезвреженных ферроцианидных отходов виноделия на основе бентонита

Abstract

The structural and mineralogical characteristics of bentonite clays of ferrocyanide winemaking neutralized wastes after thermal activation are investigated. The structural changes of mineral waste component, depending on the treatment temperature at 60 – 400^{0}C are established. It was found that increasing in temperature increases the specific surface area and pore volume with a small decrease in the effective pore radius, caused by a decrease in the interlayer distance of the montmorillonite structure. The adsorption activity of the sorbent (winemaking waste) in relation to petroleum products has has been assessed. Oil capacity of the sorbent increases with increasing the temperature of activation t and is comparable to that of the sawdust widely used in the purification of soil and water by oil pollution.

Keywords: *bentonite clays, winemaking, sorbent, capacity.*

Rezumat

Au fost studiate particularitatile structurale şi mineralogice ale argilelor bentonitice din deşeuri vinicule neutralizate de ferocianura după activare termică. Au fost identificate modificările structurale ale componentelor minerale uzate, în funcţie de temperatura de tratament 60 – 400 ^{0}C. Sa constatat că, odată cu creşterea temperaturii creşte suprafaţa şi volumul porilor specifici cu o mică scădere a razei effective a porului, cauzată de o scădere a distanţei dintre straturile structurii montmorillonit. A fost estimată activitatea de adsorbţie a absorbantului (deşeuri de vinificare), în ceea ce priveşte produsele petroliere. Capacitatea de absoarbe ulei a adsorbantului creşte cu creşterea temperaturii de activare şi este comparabilă cu cea a rumeguşului, utilizat pe scară largă în purificarea solului şi a apei poluate cu hidrocarburi.

Cuvinte cheie: *argile bentonit, vinificaţie, adsorbant, capacitate.*

Резюме

Исследованы структурно-минералогические особенности бентонитовых глин из обезвреженных ферроцианидных отходов виноделия после их термоактивации. Прослежены структурные изменения минеральной составляющей отходов в зависимости от температуры обработки при 60 – 400^{0}C. Установлено, что с повышением температуры увеличивается удельная поверхность и объем пор при небольшом снижении эффективного радиуса пор, вызванного уменьшением межслоевого расстояния в структуре монтмориллонита. Дана оценка адсорбционной активности сорбента (отходов виноделия) по отношению к нефтепродуктам. Нефтеемкость, полученного сорбента, увеличивается по мере увеличения температуры активации и сопоставима с таковой для опилок, широко используемых при очистке почв и водоемов от нефтяных загрязнений.

Ключевые слова: *бентонитовая глина, ферроцианидные отходы виноделия, сорбент, емкость.*

[1] Институт Химии АНМ.

Введение

За последние годы в Молдове накоплено огромное количество отходов виноделия, которые хранятся на территории винодельческих предприятий и являются источником загрязнения окружающей среды [1,2]. Получение из них адсорбентов различного применения является актуальным. Отходы производства в качестве адсорбентов лишены главного недостатка - высокой стоимости [3].

В литературе [4] приводятся сведения о том, что ежегодно на 100 заводах винодельческой промышленности Молдовы образуется 5 – 7 тысяч цинксодержащих отходов. Кишиневский завод Пищевого машиностроения АО ”Алиментармаш” предлагает решение по обезвреживанию, содержащих ферроцианид осадков (клеевых осадков) виноделия – берлинской лазури. Технология обезвреживания разработана в Молдавском государственном Университете Научно-исследовательского центра Прикладной и экологической химии [1].

Материалы и методы исследований

В качестве объектов были выбраны отходы виноделия после оклейки вин, очищенные на АО “Алиментармаш” от ферроцианидов. В состав отходов входит бентонит, используемый для осветления вин. Исследовались исходные и термоактивированные образцы при 200, 300,400 и 500 С. Для изучения свойств отходов производства вин (шламов) были применен метод рентгенофазового и термогравиметрического анализа, спектроскопия УФ, адсорбционный анализ.

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН – 3М, на Fe – K_L излучении с графитовым монохроматором на дифрагированном пучке в пошаговом режиме. Шаг сканирования - 4^0 /мин 2Q.

Термогравиметрический анализ проводился на модифицированной установке Q – 1500D.

Условия проведения эксперимента: атмосфера – воздух, скорость нагрева – 10 град/мин; навеска 300мг ± 0,1мг.

ИК спектры регистрировались на ИК - Фурье спектрометре Перкин-Элмер PE-100 в области 4000-650 с.

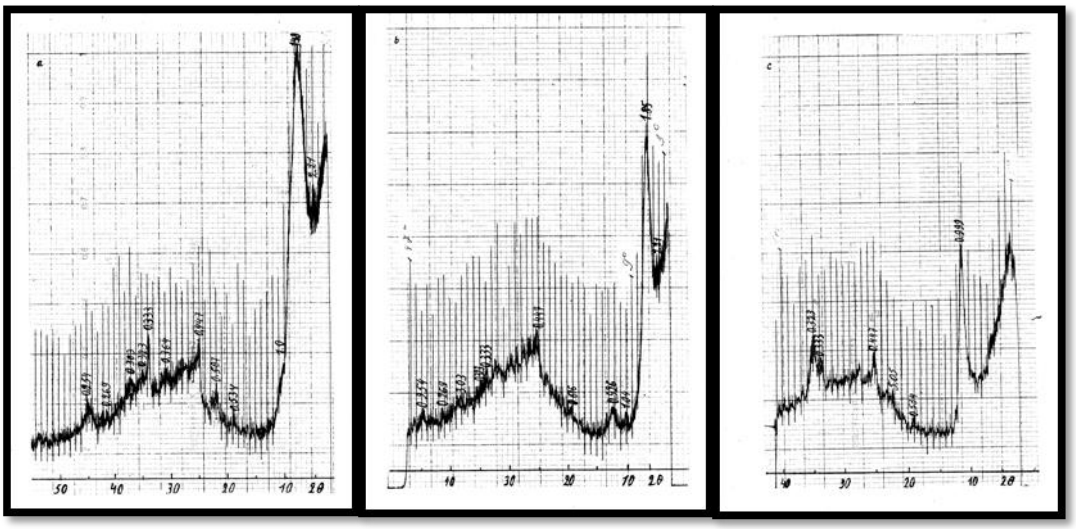
Полученные данные и обсуждение результатов

Рентгенофазовый анализ

На рис. 1, 2 приведены дифрактограммы исходных ориентированных препаратов и термоактивированных образцов обезвреженных ферроционидных отходов виноделия.

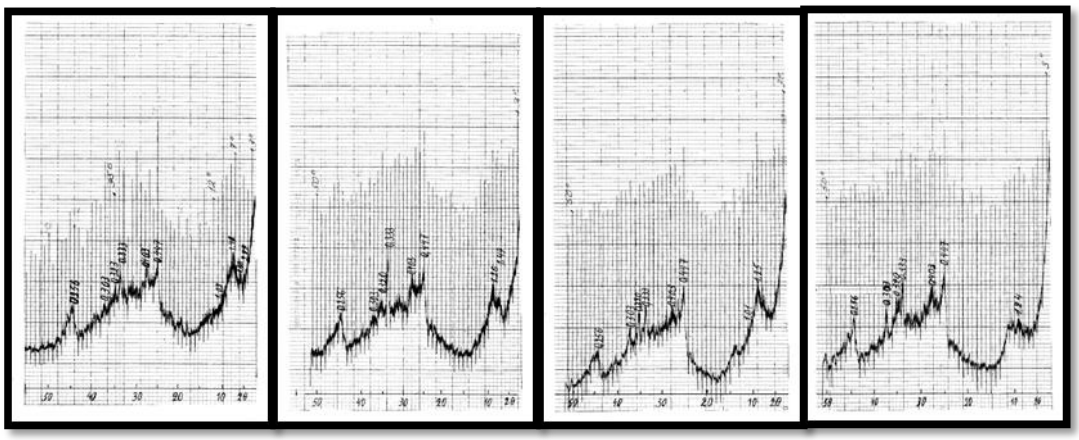
Характер дифрактометрических кривых исходного образца (рис. 1а) соответствует главным образом щелочноземельному монтмориллониту (ММ) [5,6].

Базальные расстояния, равные 1,53 нм в воздушно – сухих ориентированных препаратах, возрастают до 1,7 нм при насыщении глицерином и сокращаются до 1,0 нм после прокаливания до 600 ^{0}С. В виде примеси в изученных образцах присутствует гидрослюда, диагностируемая по межплоскостным расстояниям 1,0; 0,493; 0,333 нм, не изменяющимся при различных обработках (насыщение глицерином, нагревание при 600 ^{0}С и др.). Гидрослюда второй наиболее типичный глинистый минерал изученных бентонитовых глин, её содержание находится в пределах 10%, исходя из интенсивности соответствующего отражения на дифрактограмме.



а) б) в)

Рис. 1. Дифрактограммы исходных образцов обезвреженных ферроцианидных отходов виноделия: а) исходный ориентированный препарат; б) образец, насыщенный глицерином; в) образец, прокаленный 2 часа при 600^0С.



а) б) в) г)

Рис. 2. Дифрактограммы термоактивированных образцов бентонитовой глины из обезвреженных ферроцианидных отходов виноделия: а) исходный порошковый препарат, просушенный 2 часа при 60^0С; б) образец, прокаленный 2 часа при 200^0С; в) образец, прокаленный 2 часа при 300^0С; г) образец, прокаленный 2 часа при 400^0С.

Характерной особенностью дифрактометрических спектров является наличие отражений в области малых углов 2Θ при 2,21 нм, свидетельствующих о присутствии органического вещества и широкого гало в области 20-40^0 2Θ, подтверждающего формирование аморфной фазы. Последний фактор согласуется с малым объемным

весом 0.5 г/см3. Надо отметить и магнетит [6] обнаруживающий себя по слабым отражениям на дифрактограмме (рис. 1а) в области 44^0 - 2Θ. Из неглинистых минералов отмечается кварц (0,333 *нм),* палевой шпат (0,322 нм) и низкотемпературный кристобалит (0,403 нм), проявляющий себя в области углов 2Θ при $27{,}8^0$.

Для дифрактограммы порошка глинистой составляющей отходов виноделия (рис. 2а) характерны базальные отражения монтмориллонита 1,48 нм, пониженной интенсивности, и иллита 1,02 нм. Отражения органического вещества проявляется в области малых углов при 3,76 и 4,44 ^{0} 2Θ, а широкое гало в области 20-40^0 2Θ обусловлено наличием аморфной фазы. Неглинистые минералы представлены кальцитом 0,303 нм, полевым шпатом (0,364; 0,323 нм), низкотемпературным кристобалитом 0,403 нм и магнетитом 0,256 нм. В целом рентгеновская картина порошка глинистой составляющей аналогична таковой для ориентированных препаратов бентонитовой глины из отходов виноделия, описанная выше. После термообработки бентонитовой глины , на её дифрактограммах (рис. 2б,в,г) прослеживается постепенное уменьшение базального рефлекса (d_{001}- 1,48 нм) по мере увеличения температурной активации и появление более интенсивного рефлекса при 1,26 – 1,24 нм. Этот факт, вероятно, можно объяснить дегидратацией обменных катионов монтмориллонита [2]. Другой особенностью дифрактограмм термообработанных образцов бентонитовой глины является уменьшение интенсивности рефлексов органики в области 3,76 – $4{,}44^0$ 2 Θ с ростом температуры обработки. На дифрактограмме образца, термоактивированного при 400^0с (рис. 2г) наблюдается увеличение окристаллизованности неглинистых минералов, выраженной в увеличении их интенсивности и приобретении правильной симметричной формы, по-видимому, обусловленной значительным выгоранием органики.

Термический анализ

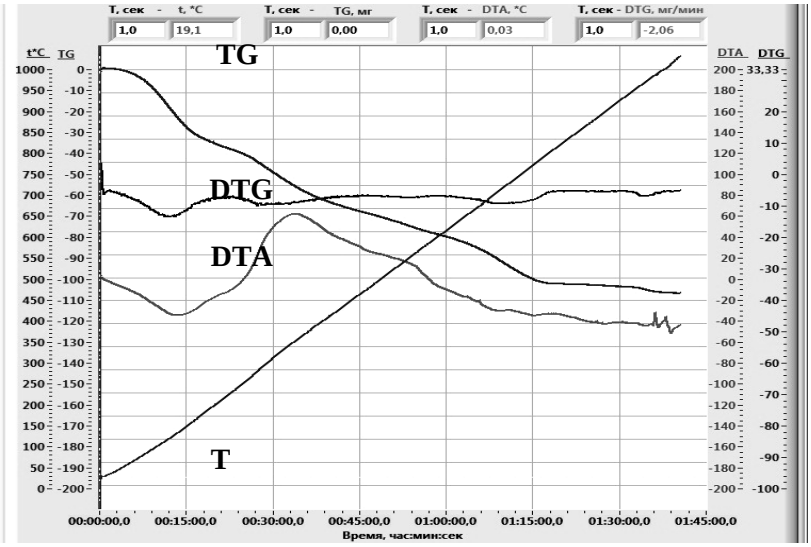


Рис. 3. Дериватограмма исходного образца бентонитовой глины из обезвреженных отходов виноделия (**T**- температура; **DTA** – изменение теплоемкости; **DTG** – скорость изменения веса; **TG** – изменение веса).

На кривых нагревания (рис. 3) исходного неактивированного образца бентонитовых глин из отходов виноделия проявляются два эндотермических эффекта минерала монтмориллонита с максимумами при 130 и 200^{0}С, обусловленных удалением адсорбированной на нем воды. В интервале 280 – 630^{0}С наблюдается экзоэффект с двумя максимумами при 360 и 560^{0}С, который связан с разложением и сгоранием органики. Третий эндотермический эффект с максимумом при 720^{0}С соответствует выделению прочносвязанной конституционной воды. Четвертый эндотермический эффект с максимумом при 960^{0}С приурочен к кристаллизации шпинели из продуктов, образовавшихся при распаде в процессе нагревания [7].

Результаты ИК – спектроскопии

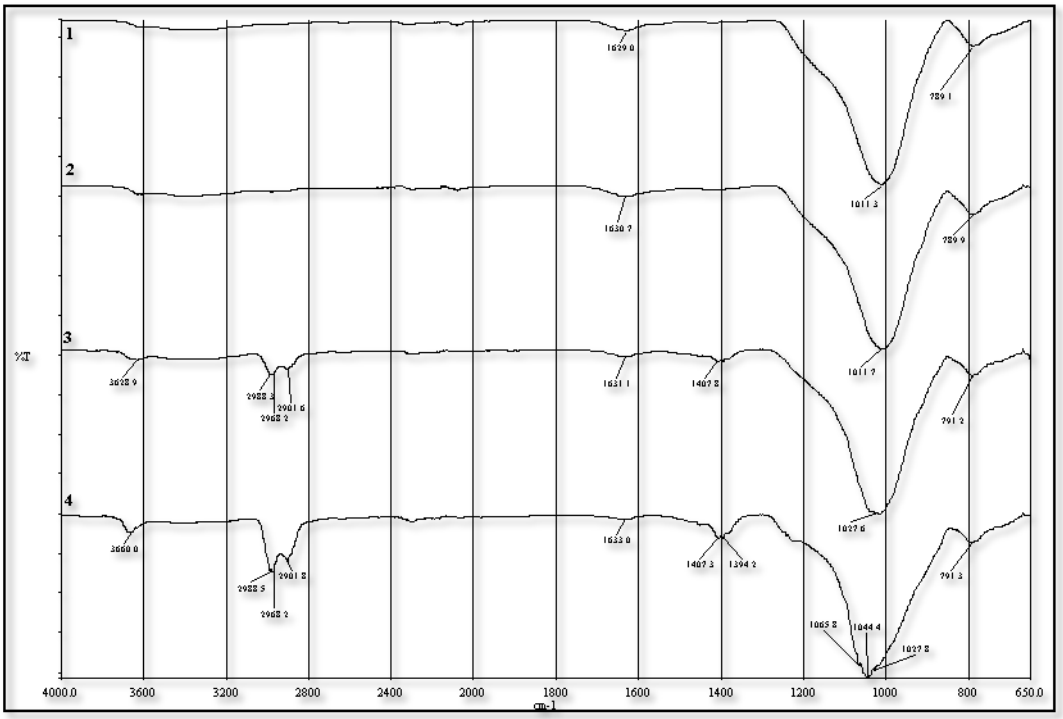


Рис. 4. ИК – спектры образцов бентонитовой глины из отходов виноделия:
1) исходный образец; 2) образец, термоактивированный при 200^{0}С; 3) образец, термоактивированный при 300^{0}С;4) образец, термоактивированный при 400^{0}С.

Как видно из рисунка 4, в спектрах можно выделить наиболее характерные группы, отличающиеся интенсивностью. Так в области 3600 -2800 см$^{-1}$ ИК – спектра наблюдается широкая полоса ОН $^-$ адсорбированной воды и структурных гидроксильных групп Al – OH и Si – OH. В области 3660 – 3630 см$^{-1}$ фиксируются полосы поглощения ОН$^-$ изолированных молекул дитригональных лунок и внутренних Al – OH и Si – OH групп. Поглощения при 1620–1650 см$^{-1}$ соответствуют деформационным колебаниям ОН – групп воды и свободных гидроксильных групп. В области 1200–650 см$^{-1}$ в спектрах проявляются валентные колебания Si–O

различного характера. Интенсивная полоса с максимумом при 1015–1014 и перегибом при 1200 см$^{-1}$ соответствует ассиметрическим валентным колебаниям Si–O–Si. Полосы при 800 -700 см$^{-,1}$ обусловлены поглощением Al – OH, Al – 0 и S – O – Al, Si – O – Si. Приведенные выше спектры характерны для слоистых силикатов типа 2:1 в частности Ca - монтмориллонита [8–9], основного глинистого минерала бентонитовых глин. В результате оклейки вин ИК – спектр бентонитовой глины характеризуется дополнительной полосой в области 1200см (перегиб), вызванной поглощением адсорбированной органики (дикарбоновые кислоты – винная) и полосой поглощения слабой интенсивности при 2070 см$^{-1}$, принадлежащей к валентным колебаниям CN-групп [2,10]. Если после термической активации бентонитовой глины, отработанной при оклейке вин и подвергнутой электрофлотационной обработке [1] в ИК-спектрах исходных (рис. 4.1) и прокалённых при 200^{0}C образцов (рис. 4.2) еще сохраняются очень слабые полосы при 2070 см$^{-1}$, то в спектрах активированных образцов при 300 и 400^{0}C (рис. 4.3, рис.4.4) они полностью исчезают. В то же время выполаживается перегиб в области 1200 см$^{-1}$ и при 400^{0}C он уже не проявляется.

Результаты адсорбционного метода исследования

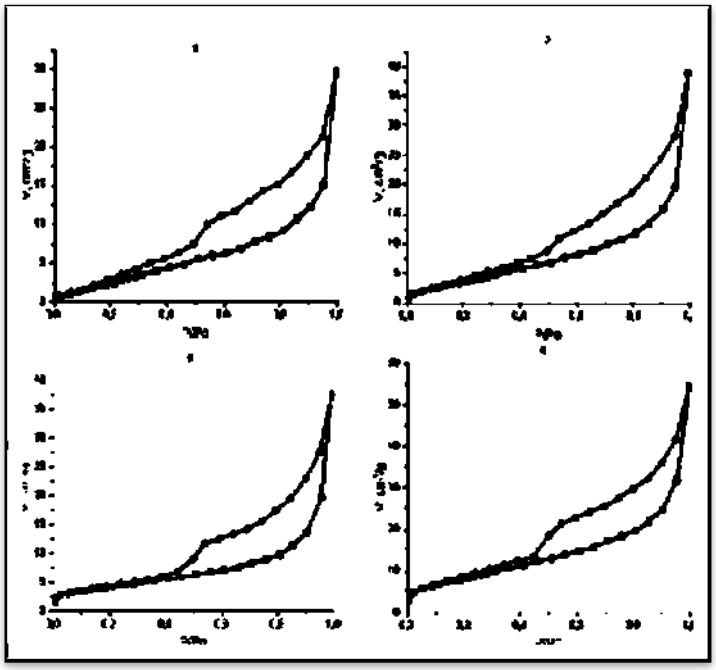


Рис. 5. Изотермы адсорбции азота (77 К) для исходных и термоактивированных образцов бентонитовой глины из отходов виноделия: а) исходный образец, просушенный 2 часа при 60^{0}C; б) образец, прокаленный 2 часа при 200^{0}C; в) образец, прокаленный 2 часа при 300^{0}C; г) образец, прокаленный 2 часа при 400^{0}C.

Текстурные характеристики определяли методом низкотемпературной адсорбции азота. Изотермы адсорбции азота (рис. 5) на образцах исходных и термоактивированных образцах бентонитовой глины из отходов виноделия относятся к IV типу по классификации Брунаура, Деминга, Теллера, которые характеризуются наличием петли капиллярно-конденсационного гистерезиса и являются типичными

для мезопористых сорбентов. Форма петли гистерезиса относится к типу В по классификации де Бура, что свидетельствует о наличии щелевидных пор [11,12].

На изотермах бентонита (рис.5) прослеживается наличие дополнительного количества мезопор, что отражается на изотерме в виде дополнительной ступени, имеющей место в области относительных давлений $0{,}10 < P/Po < 0{,}45$. Наблюдаемый на изотермах, исследуемых образцов, резкий подъем сорбционной кривой при P/P_0, близкой к 1, указывает на наличие в образцах крупных пор (таб. 1).

Резкий подъем изотермы адсорбции в области малых P/Po, для бентонитов, прокаленных при 300 и 400^{0}C, указывает [11, 12] на большое количество микропор.

Увеличение объема микропор приводит к увеличению удельной поверхности бентонитов и доступности к их активным центрам, находящимся на внутренней поверхности основного минерала монтмориллонита, что играет важную роль при адсорбции и катализе [11, 12].

Сравнительный анализ текстурных свойств материалов (таб.1) позволяет заключить, что образцы бентонитовой глины термоактивированной при 200-400^{0}C обладают большей удельной поверхностью, повышенным содержанием микропор, по сравнению с исходным образцом, просушенным при 60^{0}C.

Таблица 1

№ Образца	S,m^2/g	V, cm^3/g	R_{ef}, A
Образец 1	14,17	0.046	28.41
Образец 2	16,38	0,060	29.40
Образец 3	20,10	0,066	28,40
Образец 4	31,06	0,084	27,4

S – удельная поверхность; V – суммарный обьем пор; R_{ef} – эффективный радиус пор.

Применение переработанных отходов виноделия в различных областях

Оценку адсорбционной активности поглотителей по нефтепродуктам проводили адсорбцией масла. В качестве адсорбента использовали индустриальное масло 40А. Нефтеемкость адсорбента (отходов виноделия) определяли методом разности масс исходного и насыщенного материала погруженного в масло на сетке из медной проволоки [13]. Результаты исследований представлены в табл.2. Максимальным значением нефтеемкости обладает состав включающий отход термоактивированный при 400 С. Это обусловлено соответствующими показателями удельной поверхности и суммарной пористости (табл.1).

Таблица 2

Сравнительная характеристика промышленного и разработанного сорбента.

№ п/п	Адсорбент	Объемная масса, г/м3	Нефтеёмкость массовая, кг/кг	Нефтеёмкость 1м^3 адсорбента, кг
1	Опилки	150	4,67	750,5
2	Отходы виноделия (активированные при 60°C)	240	3,97	952,8
3	Отходы виноделия (активированные при 200°C)	300	4,39	1317
4	Отходы виноделия (активированные при 300°C)	296	4,73	1400
5	Отходы виноделия (активированные при 400°C)	234	4,73	1106

Полученные значения нефтеёмкости (табл. 2) отличаются в зависимости от температуры активации. Это связано с тем, что кроме физической адсорбции нефтеёмкость определяется действием капиллярных сил и заполнением мелкозерновых пространств, образовавшихся за счет увеличения объема свободной упаковки (табл. 1) при увеличении температуры активации сорбента.

Выводы

Данные рентгенофазового анализа позволяют судить о том, что основным минералом отходов виноделия, является щелочноземельный монтмориллонит с примесью гидрослюды. Из неглинистых минералов отмечается незначительное содержание кварца, полевого шпата и низкотемпературного кристобалита.

Характерной особенностью дифрактометрических спектров образцов, является присутствие органического вещества и аморфной фазы, а также магнетита. Термоактивация образцов бентонитовой глины приводит к значительному выгоранию органики и увеличению окристализованности неглинистых минералов. Анализ текстурных свойств исследованных образцов, активированных при 200-400^{0}С, указывает на изменения структуры минеральной основы отходов виноделия, подтвержденные увеличением удельной поверхности и повышением содержания микропор в бентоните. Оценка адсорбционной активности термоактивированных отходов виноделия по отношению к нефтепродуктам показала что, нефтеемкость, полученного сорбента, увеличивается по мере увеличения температуры активации и сопоставима с таковой для опилок, широко используемых при очистке почв и водоемов от нефтяных загрязнений.

Литература

1. Получение новых товарных продуктов при утилизации ферроцианидных отходов виноделия. Ковалев В.В., Ненно В.Э., Ковалева О.В., Карауш В.Н. Материалы 7ой Международной конференции, ‚Сотрудничество для решения проблемы отходов’’ 8 – 9 апреля 2010г, Харьков, Украина.
2. Мафтуляк А.Н., Болотин О.А. Получение и исследование угольно – минерального сорбента на основе отработанного в процессе осветления вин бентонита. Известия Академии Наук Республики Молдова, Биологические и химические науки, 1993, №2, с.54 – 58.
3. Климов М.В., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. Ульяновск. Ул. ГТУ, 2011.
4. Экологические аспекты использования отходов виноделия (берлинской лазури) http://ztbo.ru/ ekologicheskie aspekti
5. Михеев В.Н. Рентгенометрический определитель минералов. – М: Гос. технико-теоретич. Изд-во, 1959.
6. Костов И. Минералогия. Изд-во,,Мир’’, Москва, 1971, 584с.
7. Грим Р.Е. Минералогия 6и практическое использование глин. Изд-во «Мир». Москва 1967, 512 с.
8. Тарасевич Ю.И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов. Киев: Наумова думка, 1988, 248с.
9. Смит А. Прикладная ИК – спектроскопия: Основы, техника, аналитическое применение. М.: Мир,1982, 327с.

10. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. Изд.-во„Мир’’, Москва, 1966, 411 с.
11. Королькова С.В. Коллоидно-химические свойства монтмориллонит-иллитовых глин, активированных солевыми растворами. /С.В. Королькова//Автореферат Белгород-2012, 20 с.
12. Ханхасаева С.Ц. Синтез и физико-химические свойства интерполированных систем на основе полионсосоединений металлов и монтмориллонита./С.Ц. Ханхасаева// Автореферат докт. дисс. Улан-Удэ. 2010, с.19.
13. Флорес Арнас Мария Мелиса. Разработка сорбента с магнитными свойствами на основе оксидов железа и отходов металлургического производства для ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов./Флорес Арнас Мария Мелиса// Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород -2012, с. 22.

Primit la redacţie – 8 aprilie 2016

CZU 550.4

Beț A.

Analiza stării și renovării bazei resurselor minerale utile ale Republicii Moldova pe parcursul anilor 1991-2014

Abstract

The useful mineral resources have a great importance for the national economy, being used in various areas as industrial raw materials, as a source of energy, construction materials etc.

Moldova has a relatively low potential of mineral resources. The main type of useful minerals are rocks for construction and raw materials for the construction materials industry such as cement, glass, chemical industry and in insignificant quantities, fuel and other resources.

Currently in Moldova are registered by the prospecting officials and explored more than 400 deposits of useful minerals (limestone, clay, sand, sandstone, gypsum, granite, tripoli, diatomite). Currently there are in exploration 126 of opened deposits (which is around of 40% of the total deposits), and 33 deposits which are under ground (in mines).

This article presents a summary of the work of numerous reports made by the author and presented to the competent officials during the last years of the Agency for Geology and Mineral Resources (AGRM) under the Ministry of Environment of the Republic of Moldova.

Rezumat

Substanţele minerale utile au o importanţă majoră pentru economia naţională, fiind utilizate în diverse domenii: în calitate de materie primă industrială, ca surse de energie, ca materiale de construcţie ş.a.

Republica Moldova dispune de un potenţial relativ redus de resurse minerale. Principalul tip de substanţe minerale utile sunt rocile de construcţie şi materia primă pentru industria materialelor de construcţie, a cimentului, a sticlei, industria chimică şi, în cantităţi neînsemnate, combustibili şi alte resurse.

În prezent, pe teritoriul republicii sînt înregistrate de către organele de prospectare și explorate peste 400 de zăcăminte de substanţe minerale utile (calcare, argile, nisipuri, gresie, gips, granit, tripoli, diatomite). Prin exploatare la zi se valorifică cca 126 de zăcăminte (aproximativ 40% din numărul total), iar în regim subteran (în mine) 33 de zăcăminte.

Articolul prezintă o lucrare de sinteză a numeroaselor dări de seamă, realizate de autor și prezentate organelor competente pe parcursul a ultimilor ani de activitate a Agenției pentru Geologie și Resurse Minerale (AGRM), subordonată Ministerului Mediului Republicii Moldova.

Резюме

Будучи востребованы в различных промышленных отраслях, в качестве энергоресурсов, сырья используемого в строительстве и пр., полезные ископаемые играют значительную роль в национальной экономике.

С точки зрения минеральных ресурсов, Республика Молдова выделяется сравнительно низким потенциалом. Основным типом полезных ископаемых являются горные породы, применяющиеся непосредственно в строительстве или добываемые в качестве сырья для производства строительных материалов – цемента, стекла, а также, в незначительных объемах – горючие вещества и пр.

В настоящее время органами, осуществляющими надзор над поисками и разведками полезных ископаемых в пределах территории республики, зарегистрированы свыше

400 месторождений полезных ископаемых (известняков, глин, гипса, трепелов, диатомитов). Открытым методом эксплуатируются 126 месторождений (примерно 40% от общего числа), а подземным (шахтным) способом – 33 месторождений.

Статья представляет собой работу, обобщающую все данные из годовых отчетов, составленных автором в течение последних лет деятельности Агентства по Геологии и Минеральных Ресурсов (AGRM) при Министерстве Окружающей среды Республики Молдовы.

Resursele minerale ale Republicii Moldova sunt reprezentate de un spectru relativ concis de roci, dintre care principalele sunt varietățile de calcare, argile, nisipuri, prundişuri, cretă, diatomite, tripoli, ghips, gresii şi roci cristaline. Aceste resurse sunt exploatate de industria extractiv-minieră şi utilizate în calitate de materie primă în industria materialelor de construcţie, la amenajarea căilor de transport, în sectorul de construcţii, în gospodăriile casnice etc. În prezent în republică funcţionează peste 20 de întreprinderi miniere mari, iar industria materialelor de construcţie este reprezentată de peste 40 de întreprinderi mari şi câteva zeci de întreprinderi mici în care activează circa 1 000 angajaţi.

Intreprinderile mentionate nu dezvolta un ritm de exploatare a zacamintelor atât de extensiv, încât acesta ar conduce la epuizarea totală a resurselor minerale utile în Republica Moldova. În acelaşi timp, unitățile geologice de producere în regim continuu efectuează prospecțiuni şi explorări ale diverselor zăcăminte, ceia ce permite asigurarea unei dezvoltări durabile a economiei țării noastre.

În baza analizei stării resurselor minerale utile nemetalifere pentru perioada anilor 1991-2014 s-a determinat un grad înalt de valorificare a zăcămintelor. În perioada anilor 1991-2014 zăcămintele exploatabile ale principalelor genuri de substanțe minerale utile alcătuiau în mediu 45,8 % din numărul total al acestora, puse la evidență în balanța de stat a rezervelor substanțelor minerale utile (Tab. 1). Numărul zăcămintelor exploatabile ale materiilor prime pentru industria cimentului, gips, calcare pentru tăierea blocurilor, calcare pentru piatră brută și piatră spartă, nisip-prundiș la etapa 01.01.2015 alcătuiau:

- materie primă pentru ciment - 1 zăcămînt
- gips - 1 zăcămînt
- calcare pentru tăierea blocurilor - 33 zăcăminte
- calcare pentru piatră brută și prundiș - 36 zăcăminte
- nisip-prundiș - 51 zăcăminte

În mediu extragerea anuală a substanțelor minerale utile pe parcursul anilor 1991-2014 a constituit:

- calcare - 715 mii tone
- argilă - 329 mii tone
- gips - 387 mii tone
- calcare pentru tăierea blocurilor - 468 mii m^3
- calcare pentru piatră brută și prundiș - 1329 mii m^3
- nisip-prundiș - 1006 mii m^3

Tab. 1. Starea şi mişcarea substanţelor minerale utile referitor la genurile principale ale resurselor minerale ale Republicii Moldova în a. 1991 – 2014 [4]

Resurse minerale	Unitatea de măsură	Anul de evidenţă	Numărul de zăcămintelor		Rezervele de balanţă		Volumul de extragere	Pierderile	Variaţiile rezervelor de balanţa în urma lucrărilor de explorare (+ creştere) (- reducere)	Volumele de reproducere (+) şi amortizare (-) a rezervelor de balanţa
			Total	inclusiv exploatabile	Total	inclusiv la zăcămintele aflate în exploatare				
Materie primă pentru ciment										
Calcar	mii tone	1991-1995	3	1	222581	193220	5729	174	-17050	-22953
		1996-2000	3	1	219600	190239	2895	86		-2981
		2001-2005	3	1	219032	189671	1243	20	+695	-568
		2006-2010	3	1	214605	185244	4342	85		-4427
		2011-2014	3	1	211594	182233	2953	57		-3011
		1991-2014					**17162**	**422**	**-16355**	**-33940**
Argilă		1991-1995	3	1	58710	42602	4291	176	+15830	+11363
		1996-2000	3	1	57876	41768	810	24		-834
		2001-2005	3	1	57457	41349	526	16	+123	-419
		2006-2010	3	1	56491	40383	943	23		-966
		2011-2014	3	1	55811	39703	662	17		-680
		1991-2014					**7232**	**256**	**+15953**	**+8464**
Gips	mii tone	1991-1995	2	1	45473	20459	1741	109	-3836	-5686
		1996-2000	2	1	44435	19421	929	109		-1038
		2001-2005	2	1	42046	17032	2327	93	+31	-2389
		2006-2010	2	1	39204	14190	2767	75		-2842
		2011-2014	2	1	37635	12621	1524	45		-1569
		1991-2014					**9288**	**431**	**-3805**	**-13524**
Calcar pentru tăierea blocurilor	mii m3	1991-1995	52	33	39772	284429	3584	4656	-11424	-19664
		1996-2000	51	37	39613	292749	1783	2367	2568	-1582
		2001-2005	52	39	39876	324211	2038	2638	7305	+2629
		2006-2010	52	30	39907	239825	2494	2704	5504	+306
		2011-2014	55	33	39694	237691	1346	1791	900	-2134
		1991-2014					**11245**	**14156**	**+4853**	**-20445**
Calcar pentru piatră spartă şi pietriş	mii m3	1991-1995	64	25	47081	223626	11244	277	+3843	-7678
		1996-2000	67	27	46749	201965	3683	472	+834	-3321
		2001-2005	77	35	47544	204962	4273	122	+12342	+7947
		2006-2010	76	32	46818	185257	6500	46	-712	-7258
		2011-2014	76	37	46288	187919	6209	35	+944	-5300
		1991-2014					**31909**	**952**	**+17251**	**-15610**
Roci de nisip şi prundiş	mii m3	1991-1995	77	26	37000	125462	7433	468	-11929	-19830
		1996-2000	99	25	36617	122574	1692	143	-1994	-3829
		2001-2005	116	59	34565	128190	3568	334	-16621	-20523
		2006-2010	135	48	35905	51437	5571	354	+19327	+13402
		2011-2014	138	51	36067	103015	5886	366	+7746	+1626
		1991-2014					**24150**	**1665**	**-3471**	**-29154**

Volumulrile substanţelor minerale utile extrase de întreprinderile miniere din republică pe parcursul perioadei examinate variază într-un mod considerabil. Astfel, în ultimii cinci ani s-a manifestat o creştere a volumului de extragere a genurilor de bază ale substanţelor minerale utile în comparaţie cu perioadele anilor 1996-2000 şi 2001-2005. De exemplu, volumul general de extragere a gipsului la perioada anilor 1996-2000 a alcătuit 929 mii tone, iar la perioada anilor 2006-2010 acesta s-a majorat pînă la 2767 mii tone, iar în perioada anilor 2011-2014 se micşorează pînă la 1524 mii tone. Volumul de extragere a calcarelor pentru tăierea blocurilor în perioada anilor 2006-2010 a alcătuit 2494 mii m^3, iar în anii 2010-2014 – numai 1346 mii m^3. Cea mai suficientă creştere în ultimii ani a fost obţinută corespunzător la extragerea calcarelor pentru piatră brută şi pietriş 6209 mii m^3 şi nisip –prundiş 5886 mii m^3.

În procesele de valorificare şi utilizare a substanţelor minerale utile, în calitate de criteriu fundamental în evaluarea stării şi dezvoltării acestora, se prezină aşa numita regenerare a rezervelor de balanţă, estimată în baza creşterii resurselor prin desfăşurarea prospecţiunilor geologice.

Cantitatea sumară a rezervelor de substanţe minerale utile aflată la balanţă în anii 1991-2010 este destul de suficientă pentru ramurile economiei naţionale şi alcătuieşte:

- materie prime pentru ciment (calcare, argile) -30929 mii tone;
- gips -11955 mii tone;
- calcare pentru tăierea blocurilor -18310 mii m^3;
- calcare pentru piatră brută şi pietriş -10310 mii m^3;
- nisip –prundiş -30780 mii m^3.

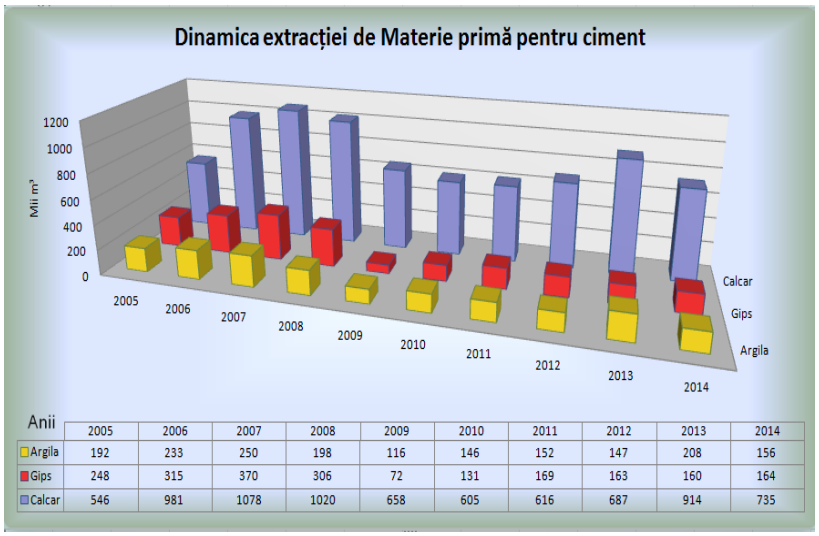
Pe lîngă aceasta, în perioada de analiză (anii 1991-2014) s-a remarcat o oarecare creştere a rezervelor diferitor tipuri de substanţe minerale utile în volume, care au acoperit atât, rezervele extrase şi cât ţi cele pierdute la etapele de exploatare. De exemplu, în perioadele anii 2001-2005 şi 2006-2010 volumele de extragere şi pierdere a calcarelor pentru tăierea în blocuri alcătuiau, respectiv, 4676 mii m^3 şi 5198 mii m^3 şi, în acelaşi timp, adaosurile rezervelor pentrtu acest tip de calcare au alcătuit 7305 mii m^3 şi 5504 mii m^3, depăşind astfel volumele rezervelor regenerate de la 21,9% pînă la 2,9%. Necesită să fie remarcat, că creşterea rezervelor calcarelor pentru tăierea blocurilor în aceşti ani a fost obţinută în urma explorărilor zăcămintelor aflate în exploatare, deoarece la timpul respectiv nu s-au efectuat prospecţiuni şi explorării geologice speciale pentru a gasi zăcăminte noi de calcare pentru tăierea blocurilor. La etapa respectivă, în principiu, au fost sistate întrerupte lucrările prospecţiunilor geologice şi explorări ale zăcămintelor de substanţe minerale pentru producerea cimentului, a gipsului, calcarelor pentru producerea pietrei sparte, a pietrişului şi a altor genuri de substanţe minerale utile.

În anii 2006-2014 prospecţiunile geologice sau efectuat, predominant în scopul de a spori rezervele substanţelor minerale de nisip-prundiş. La sfîrşitul etapei menţionate, sporirea rezervelor de nisip-prundiş a alcătuit 7746 mii m^3, ceia ce de trei ori a depăşit nivelul de amortizare a rezervelor pe parcursul efectuării lucrărilor de extragere a substanţelor minerale utile.

Conform diagramei din Fig.1 se observă o creştere esenţială în anii 2005 -2007 a rezervelor de calcar pentru producerea cimentului, din anii 2008 -2010 se manifestă o descreştere, iar în anii 2010-2013 volumul de calcar extras se măreşte. Cel mai mare volum de calcar a fost extras în anul 2007, aceiaşi dinamică pentru anii 2005-2009 se

observă la zăcămintele de gips şi argilă. Astfel, în anii 2009-2013 volumul de substanţe minerale utile creşte treptat. Fapt care găseşte explicaţie în oscilaţiile în lucrări de construcţie efectuate în Republica Moldova.

Volumul maxim de caclar pentru tăierea blocurilor a fost extras în anii 2005 şi 2007 (Fig. 2). În comparaţie cu anul 2005, în anul 2014 se observă o scădere semnificativă a exploatării calcarelor de acest tip, deoarece pe piaţa materialelor de zidărie apare un nou produs „Beton celular autoclavizat (BCA)", care înlocuieşte calcarul tăiat în blocuri în lucrările de construcţie a blocurilor multietajate.



Anii	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Argila	192	233	250	198	116	146	152	147	208	156
Gips	248	315	370	306	72	131	169	163	160	164
Calcar	546	981	1078	1020	658	605	616	687	914	735

Fig. 1. Dinamica extracţiei de Materie primă pentru ciment.

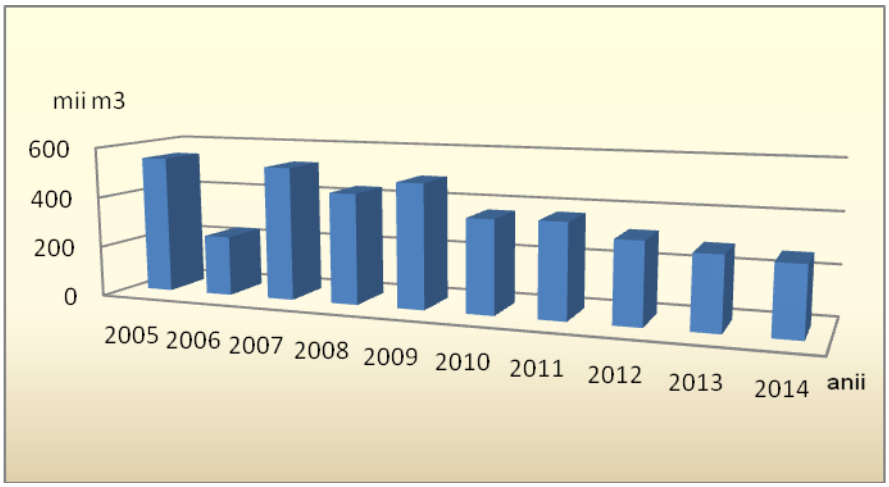


Fig. 2. Dinamica extracţiei a calcarului pentru tăierea blocurilor.

Lucrările de extragere a substanţelor minerale utile din zăcămintele de calcar pentru tăierea blocurilor se efectuează în subteran cu folosirea metodei de exploatare cu camere şi pilieri. Tăierea blocurilor pentru pietre de zidarie (coteleţ) din calcar pentru tăierea blocurilor stratul util se efectuează nemijlocit în frontul de lucru al excavaţiilor miniere

subterane cu înălţimea de minim 2,4-2,6 metri. Tăierea blocurilor pentru pereţi se efectuează cu maşini de tăiat de diferite tipuri (МКД-1, МКД-2, КМГ-2, КМАЗ-188). Volumul producţiei-marfă (blocuri) din masivul minier extras constituie în mediu 62,5%, coeficientul de extragere a producţiei finite are valoarea de 0,35. Cu metoda existentă de extragere, pierderile substanţei minerale utile în subteran la zăcăminte aparte constituie de la 53% la 60%, în mediu de 56,6%. Volumul de bază a pierderilor de extragere a substanţei minerale utile se referă la pilierii de siguranţă, tavanul şi talpa excavaţiilor miniere.

Prin această remarcă se explică dinamica negativă a valorificării acestor varietăţi de calcare. În acelaşi timp, vom menţiona, că implimentarea noilor tehnologii de construcţii nu înseamnă renunţarea totală la materialele de construcţii tradiţionale pentru ţara noastră. Asta se referă nu numai la calcarele de tăiat în blocuri.

Volumul maxim de caclar pentru construcţii a fost extras în anii 2013-2014 (Fig. 3). În comparaţie cu anul 2009, în anul 2014 se observă o tendita de crestere semnificativă a exploatării calcarelor de acest tip, deoarece s-a mărit volumul lucrărilor de construcţie si reabilitare a drumurilor, edificiilor etc.

Cantitatea de bază a zăcămintelor de piatră pentru construcţii în republică este prezentată prin calcare rifogene şi stratificate recristalizate ale Neogenului, rentabile pentru producerea pietrei sparte şi a pietrişului. Lucrările de extragere minieră la zăcămintele de piatră pentru construcţii se efectuează în carieră prin intermediul lucrărilor de foraj şi cu explozie.

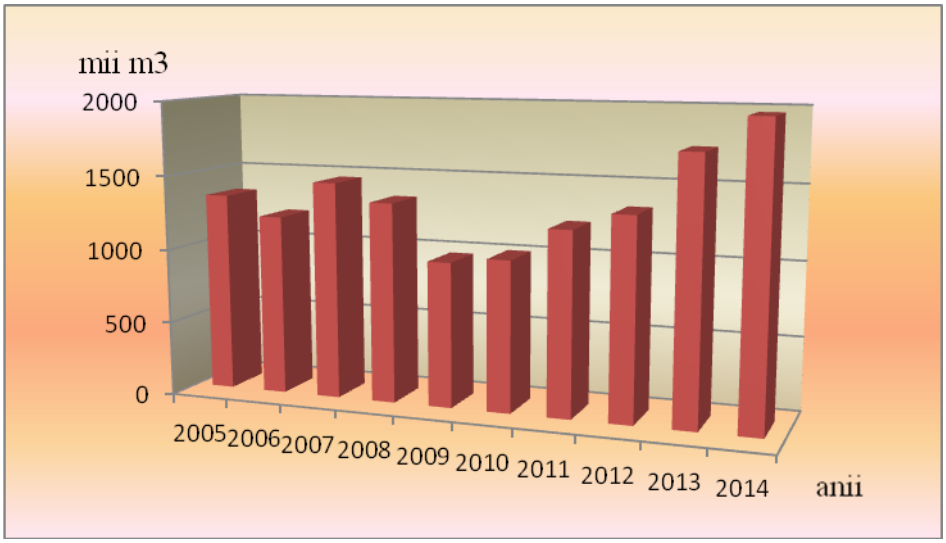


Fig. 3. Dinamica extracţiei a calcarului pentru construcţie.

Nisipul şi nisip-prundişul extras se folosesc, în general, pentru producerea betonului şi a mortarului pentru construcţii, precum şi pentru stratul de balast, folosit la căi ferate şi pentru construcţia drumurilor.

Conform datelor din balanţa de stat privind starea şi mişcarea rezervelor de substanţe minerale utile au fost calculate consumul materiei prime principale a econimiei naţionale pentru anii 1970, 1980, 1990 şi 2014 (Tab. 2). Dinamica volumului extras a materiei prime pentru aceşti ani este ilustrata în Fig. 4.

Tab. 2. Volumul extras a materiei prime pentru anii 1970, 1980,1990 şi 2014

Nr.	Denumirea substanţei minerale utile	Unitatea de măsură	Volumul extras în a.1970	Volumul extras în a.1980	Volumul extras în a.1990	Volumul extras în a.2000	Volumul extras în a.2014
1.	Materie primă pentru ciment (calcar, argilă)	mii tone	2021	2049	3328	978	891
2.	Ghips	mii m^3	192	318	526	229	380
3.	Calcar pentru tăierea blocurilor	mii m^3	1114	1434	1266	364	271
4.	Calcar pentru piatră spartă şi pietriş	mii m^3	4713	5062	6054	554	2121
5.	Roci de nisip şi prundiş	mii m^3	2556	5763	4061	319	1787

Pe parcursul anilor 1990-1996 sectoarele economiei nationale inclusiv industria extractivă a Moldovei a inregistrat un declin continuu. Volumul productiei in industria extractiva s-a micsorat de 2-7 ori. Declinul masiv al industriei respective a fost agravat si de dezechilibrarea sistemului financiar din 1993 si abia in anii 1999-2000 Republica Moldova treptat a inceput să-şi restabilească potenţialul său economic. În anul 2014, volumul materiei prime minerale extrase de calcar pentru construcţii şi roci de nisip-prundiş, a crescut mai bine de două ori, în comparaţie cu volumul extracţiei realizat în 2000. Cu toate acestea, indicatorii valorii volumelor de exploatarea a resurselor din anii de independenţă sunt mai mici în raport cu cei din 1990, fapt determinat de criza economica din anii 1990-1997, si reducerea esenţială a volumului de construcţii locative şi blocarea totala a constructiei obiectivelor industriale (Tab. 2). După cum a fost menţionat, baza materiei prime minerale a Republicii Moldova o constituie zăcămintele minerale nemetalifere, fiind reprezentate de materiale naturale de construcţie, de materie primă pentru industria cimentului, a sticlei, inclusiv pentru industria alimentară şi chimică.

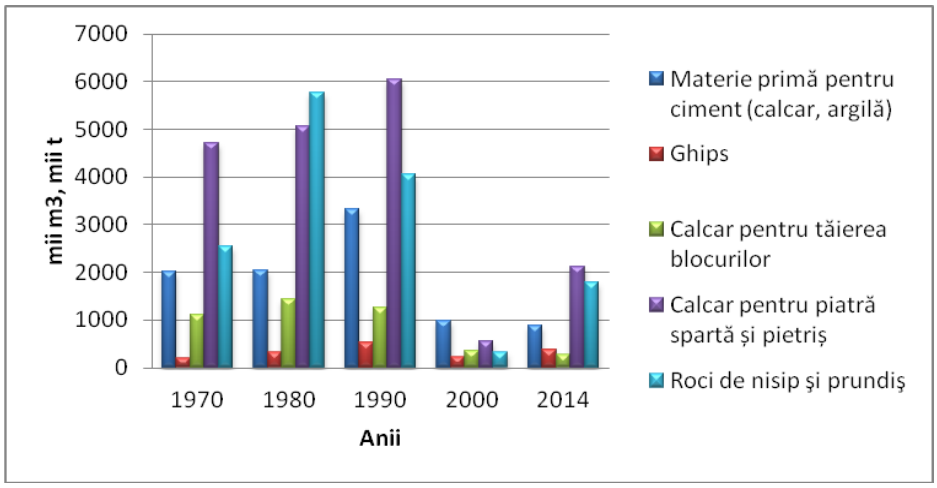


Fig. 4. Dinamica volumului extras a materiei prime pentru anii 1970, 1980,1990 şi 2014.

Indiferent de faptul, că în unii ani a fost remarcată creşterea rezervelor (Tab.1), necesară pentru o elemntară compensare a resurselor minerale utile, sporirea rezervelor

pentru reproducerea generală ale rezervelor, care se extrăgea la perioada de referință, nu a avut loc. Este evident că pierderile rezervelor neextrase duce spre sărăcirea intensă a bazei resurselor minerale utile, ceia ce evidențiază datele aduse în tabelă. De exemplu, rezervele de balanță ale gipsului la 01.01.1992 alcătuiau 45,5 milioane tone, iar la 01.01.2012, corespunzător numai 38,8 mln. tone. O situație analogică în variația rezervelor de balanță a fost remarcată și la alte genuri de substanțe minerale utile.

Pentru a promova o reproducere mai eficientă a bazei de materie primă, este necesară renovarea și reorganizarea lucrărilor de prospectări și explorări geologice.

Actualitatea necesității îndeplinirii lucrărilor de reproducere a bazei de meterii prime este cauzată și de faptul, că majoritatea zăcămintelor fondului nerepartizat al subsolului, aflate în evidență la balanța de stat, au fost explorate în anii 70-90 ai secolului trecut, însă pînă prezent nu au fost transmise pentru valorificarea lor industială.

În anii apropiați, majoritatea acestor zăcăminte nu poate fi introdusă în valorificare industrială din diferite cauze. Majoritatea dintre acestea sunt problemele referitoare la atribuirea perimetrelor sectoarelor funciare, zonelor de protecție, modificările cerințelor tehnico-economice la diferite genuri de substanțe minerale utile etc. Din punct de vedere formal, economia națională pare să fie asigurată cu rezerve explorate, însă, de facto, ea suferă din cauza unui deficit de rezerve eficiente din punct de vedere economic. În situația creată, necesită să fie luate măsuri pentru renovarea și prelungirea lucrărilor privind inventarierea, reevaluarea geologo-ecologică și tehnologică a unui șir de zăcăminte minerale utile din cadrul teritoriului republicii Moldova.

Concluzie

Luând în considrație toate obiectivele menționate mai sus, putem afirma, că studierea sistematică a subsolului și efectuarea în regim continuu a lucrărilor de prospectare și explorare a substanțelor minerale utile, va favoriza localizarea teritorii de perspectivă pentru explorări și exploatări ulterioare ale zăcămintelor de diferite genuri de substanțe minerale utile nemetalifere. În acest caz, creșterea rezervelor de substanțe minerale utile va permite rezolvarea problemelor ce țin de reproducția și ameliorarea calitativă a bazei de resurse minerale utile.

În viitorul apropiat se poate pune problema efectuarii lucrărilor de prospecțiuni și explorări în limitele teritoriului Republicii Moldova a manifestărilor de fosforit, fluorină, cărbune brun, grafit, metale rare și colorate în scopul identificarii și evaluarii rezervelor substanțelor menționate pentru o eveventuală valorificare la nivel industrial.

Bibliografie

1. Anuarul statistic al Republicii Moldova. Ed. Statistica. Chişinău, 1994-2004.
2. Asociaţia de Stat de Producţie pentru Explorări Geologice (raport anual). Chişinău, 2000-2005.
3. Balanța de stat a substanţelor minerale utile din RM conform situaţiei la data de 01.01.1991 pînă la data de 01.01.2015, Agenția pentru Geologie și Resurse Minerale, Chișinău.
4. Balanța de stat a substanţelor minerale utile din RM conform situaţiei la data de 01.01.1971 şi 01.01.1981, Agenția pentru Geologie și Resurse Minerale, Chișinău.

Primit la redacţie – 1 iulie 2016

УДК: 551.782

Покатилов В.П.

Седиментационные обстановки осадконакопления в неогене Днестровско-Прутского междуречья

Abstract

The geologic development of the region between Dniester and Prut in Miocene was connected by processes of orogenic in the East Carpathian. During middle and late Miocene this region had two stage of sedimentation: transgressive (middle Badenian – midst middle Sarmatian) and regressive (midst middle Sarmatian – Meotian). After Pontian transgression the basin was finished. There were several typical fluctuations of the level sea in the period of transgressions or regressions, which may be called the "pseudotransgression" or "pseudoregression". In the every stage were various conditions sedimentation and various biolithofacieses.

Keywords: *Eastern Paratethys, regression, transgression, biofacies, fauna.*

Rezumat

Evoluția geologică a interfluviului Nistru-Prut în miocen a fost influențată de procesele orogenice a Munților Carpați. În miocenul mediu și miocenul superior au avut loc două etape de sedimentogeneză: transgresivă (bedenianul mediu – mijlocul sarmațianului mediu) și regresivă (mijlocul sarmațianului mediu – meoțianul). În rezultatul transgresiunii ponțiane a avut loc izolarea bazinului maritim. Pentru ambele etape sedimentologice sunt specifice fenomene de fluctuație, care se manifestă prin retrageri locale de scurtă durată în timpul transgressiunii și înaintări locale în timpur regresiunii a bazinului maritim. E de menționat, că fiecare etapă este caracterizată de condiții specifice de sedimentare și, respectiv, litofaciese proprii.

Cuvinte cheie: *Paratethysul de Est, regresie, transgresiune, biofacie, fauna.*

Резюме

Геологическое развитие Днестровско-Прутского междуречья (ДПМ) в миоцене обусловлено орогеническими процессами в Восточных Карпатах. В течение среднего и позднего миоцена ДПМ прошло два этапа осадконакопления: трансгрессивный (средний баден – середина среднего сармата) и регрессивный (середина среднего сармата – мэотис), за которым последовала кратковременная понтическая трансгрессия, завершившаяся замыканием морского бассейна. Для обоих этапов характерны флуктуационные явления: кратковременные локальные отступления – регрессивные "откаты" при трансгрессии и наступления – трансгрессивные "всплески" при регрессии при общей устойчивой тенденции основного процесса, которые могут быть определены как "псевдотрансгрессии" или "псевдорегрессии". На каждом этапе геологического развития существовали различные обстановки осадконакопления, которым соответствовали разные биолитофации.

Ключевые слова*: Восточный Паратетис, регрессия, трансгрессия, биофация, фауна.*

Введение

Неогеновый период – завершающий этап развития и существования (палеозой – палеоген) субширотного океана Тетис, который протягивался от современного Атлантического океана до Индийского океана. В связи с Альпийским орогенезом (конец эоцена – начало олигоцена) сформировалось два морских бассейна: южный, или Средиземноморье, и северный – Паратетис [1]. В неогене развитие Паратетиса было неоднородным. По характеру палеогеографических

условий, существовавших в неогене, Паратетис подразделяется на Западный Паратетис, Центральный Паратетис и Восточный Паратетис (рис. 1). В Восточном Паратетисе накопление морских осадков продолжалось дольше, чем в Центральном и Западном, вплоть до четвертичного времени.

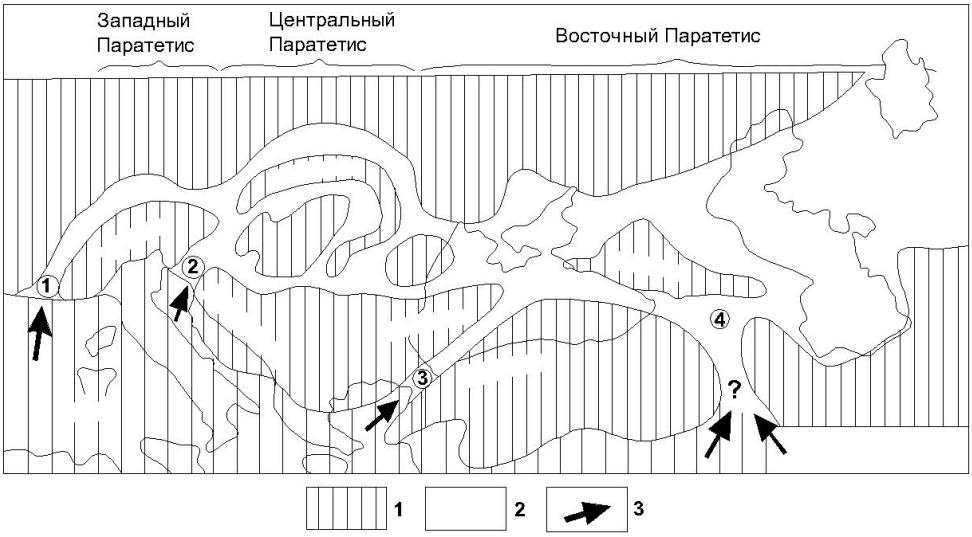


Рис. 1 Неогеновые бассейны Паратетиса (Семененко и др ., 2009; по Сенеш Я . и Циха Н ., 1973)
1 - суша; 2 - море; 3 - связь сТетисом (цифры на схеме): 1 - Ронская впадина , 2 - Северная Италия и Югославия (Драво-Савская область), 3 - Эгейская область , 4 - Иран и Афганистан

Геологическая история Днестровско-Прутского междуречья (ДПМ) в неогеновое время тесно связана с заложением и пульсационным развитием Карпатского орогена и, как следствие, с функционированием Галицийского залива (моря), который простирался в северо-западном направлении вдоль Восточных Карпат. В среднем – позднем миоцене (штирийская фаза складчатости) продолжались орогенические движения в альпийском поясе, которые охватывали и Карпаты. Восточный Паратетис постепенно деградировал, распадался на полуизолированные и изолированные слабосолёные и опреснённые мелководные водоёмы. Возникали различные обстановки осадконакопления, что обусловило широкий фациальный спектр (полибиолитофациальность) неогеновых отложений. Существовали две основные обстановки: морская и континентальная. В морских условиях формировались лагунные, прибрежные, мелководные, переходные (приглубинные) и относительно глубоководные фации; в континентальных – речные, озёрные (лиманные) фации и фации предгорных равнин.

После длительного перерыва, имевшего место на территории ДПМ в предсреднемиоценовое время, в начале среднего миоцена начинается медленная трансгрессия моря, интенсивность и масштабность которой в неогене неравномерна. Она достигает апогея в середине среднего миоцена, затем сменяется регрессией, которая завершается полным замыканием морского бассейна в киммерии.

Материалы и методы

При составлении настоящей статьи использованы материалы геологических съёмок разного назначения масштаба 1:200000 и 1:50000, специализированных тематических работ, в которых принимал участие автор; выполнен критический

анализ фондовой и изданной литературы по данной теме: по стратиграфии, палеогеографии и тектоники ДПМ и составлена схема районирования неогеновых отложений Днестровско-Прутского междуречья (рис2), в соответствии с которой приведена характеристика отложений неогенного региояруса.

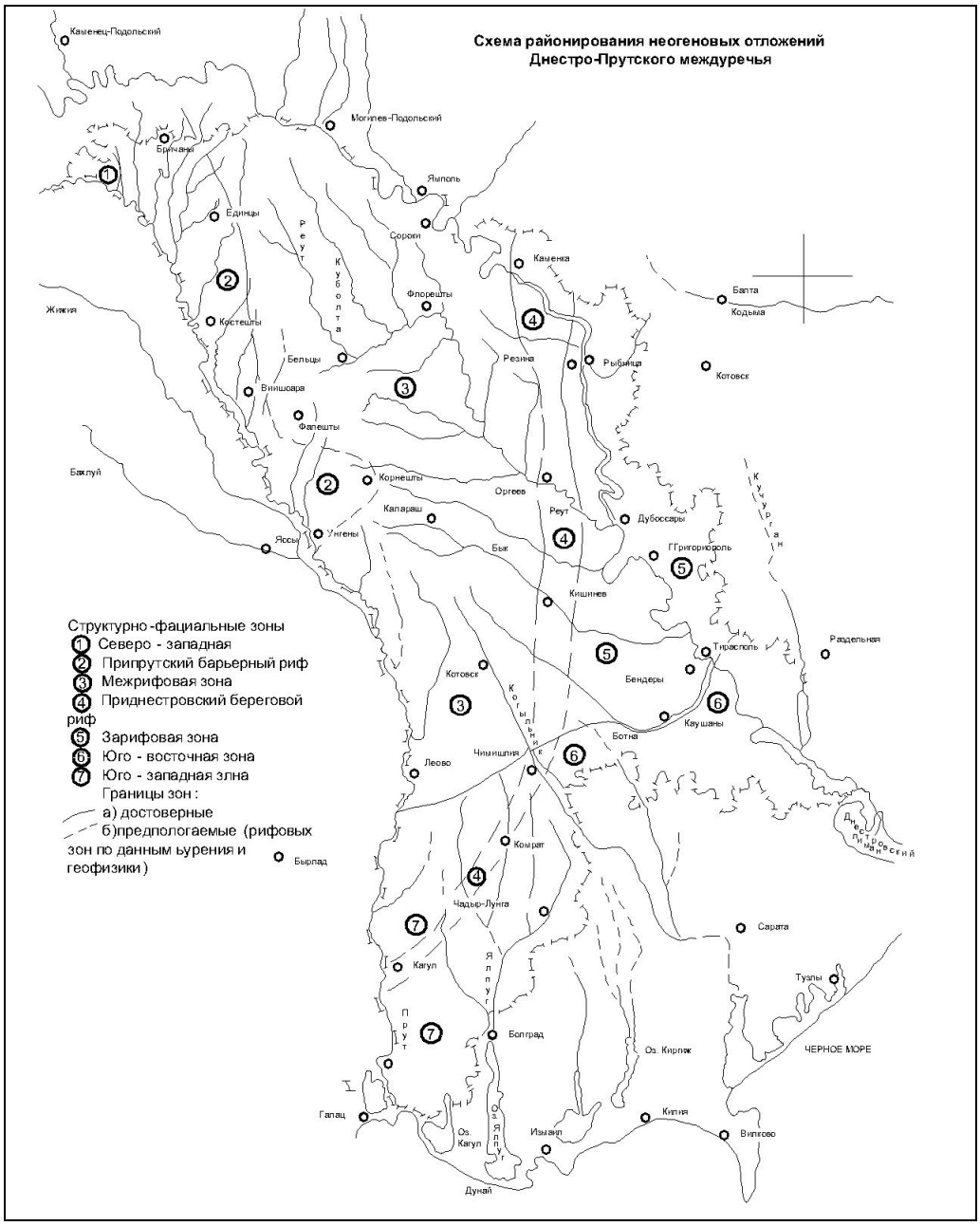


Рис.2. Схема районирования неогеновых отложений Днестровско-Прутского междуречья.

Результаты исследований

Раннебаденская трансгрессия, вызванная штирийской фазой складчатости, распространялась от воздымающихся Карпат до юго-западного склона Украинского щита (УЩ). (Рис. 3).

В раннем бадении (подольское время) вся территория ДПМ представляла собой мелководье зарождавшегося Галицийского залива, в котором существовало, по крайней мере, три обстановки осадконакопления: прибрежная или субконтинентальная (Северо-восточное Приднестровье, примыкающее к юго-западному склону УЩ), где накапливались преимущественно обломочные осадки - «клейкие» кварцевые пески подольской свиты; собственно мелководье (основная часть бассейна) с неустойчивым водным режимом, в котором отлагались бентонитоподобные глины, детритовые известняки и мергели подольской свиты, и лагунная (Крива – Липканы) – на северо-западе ДПМ, где отлагались известковистые песчаники, мергели и бентонитоподобные глины чебровской свиты.

В среднем бадене сохраняется в целом мелководная обстановка, за исключением северо-запада ДПМ (Крива – Дрепкауцы), где в эвапоритовых условиях лагуны накапливалась однородная толща гипсов кривской свиты мощностью до 27 м. Кривская лагуна представляла собой юго-восточный фланг протяжённой (до 800 км) эвапоритовой зоны от г.Немиров (Украина) до с. Дрепкауцы (Молдова). В прослоях глин, встречающихся в гипсах в зоне Предкарпатского прогиба (Украина), обнаружена фауна Chlamys eleni Zhizh, Gafrarium minimo (Mont.), Tapes grigarius var. modesta Dub. и др., характерная для верхнего бадена [19]. Характерно, что в ратынских известняках (Украина), подстилающих, а местами перекрывающих гипсовую толщу, встречена такая же фация хламисов и других видов моллюсков. Петрографическая идентичность бентонитоподобных глин подольской свиты и прослоев глин в гипсах (Украина) свидетельствует о том, что глины подольской свиты и гипсы кривской свиты одновозрастны, но образовались в разных фациальных условиях.

В позднем бадене происходит некоторое повышение уровня моря. (Рис. 3). Но в целом сохраняются прежние обстановки осадконакопления: прибрежная, мелководная и лагунная. В прибрежной формировалась фация кварцевых песчаников (главанская свита) с фауной Chlamys malvinae Dub., Chl.neumayri (Hilb.), Chl.flave (Dub.); в мелководной – фация литотамниевых и органогенно-обломочных известняков с Chlamys elegans Andr., Ostrea digitalina (Dub.) – единецкая свита и в лагунной – преимущественно бентонитоподобные бесструктурные серовато-зеленые и голубовато-зеленые глины с прослоями туфов, местами переходящие в красно-бурые глины (ширеуцкая свита). Специфическая голубовато-зеленая и красно-бурая окраска глин свидетельствует о застойной, восстановительной среде, обусловленной постепенным обмелением бассейна.

В конце позднего бадена – начале раннего сармата на границе мелководной и приглубой зоны шельфа (на перегибе шельфа или бортовом уступе) развивается рифовая гряда, которая протягивается параллельно Карпатам от г. Броды (Украина) до с. Стефанешты (Румыния) на расстояние более 300 км. [12, 26]. В пределах ДПМ рифовая гряда (припрутская толща рифогенных известняков (N_1 ppr – Припрутский барьерный риф) прослеживается от г. Бричаны до с. Моарэ-Домняскэ. Ширина её от 40-30 км на севере, до 10-5 км – в южной части. В пределах рифовой гряды выделяются две фации: фация рифов (литотамниевые, литотамниево-верметусовые, литотамниево-мшанковые и детритово-ракушечниковые известняки) и фация шлейфов (органогенно-обломочные, детритовые и шламовые известняки) [26].

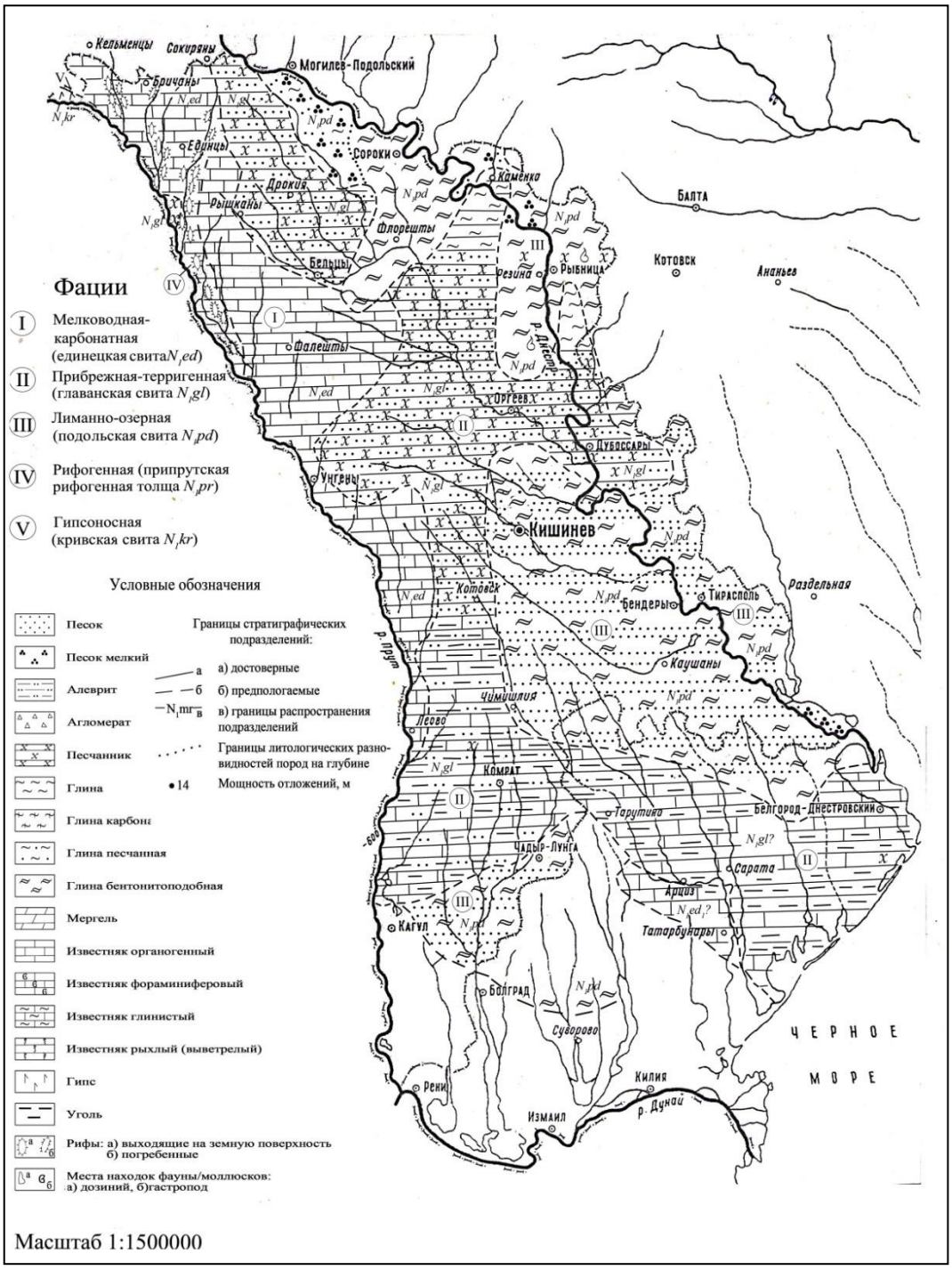


Рис.3. Схема литофаций баденского региояруса
(по материалам В.Х. Рошки, 1969; А.Н. Янакевича, 1977; И.В. Блюка, 1989 и автора)*.

**Индексы стратиграфических подразделений:*

N_1pd – подольская свита	*N_1mr – мерешенская толща*
N_1ed – единецкая свита	*N_1kd_3 – верхнекодринская подсвита*
N_1gl – главанская свита	*N_1n – новороссийский подъярус*
N_1zl – зеленовская свита	*N_1pdb – придобруджская толща*
$N_1r\check{s}$ – рышканская свита	*N_1kd_1 – нижнекодринская подсвита*
N_1br – бравиченская свита	*N_1pdn – приднестровская рифогенная толща*
N_1rs – распопенская свита	*N_1ppr – припрутская рифогенная толща*
N_1pr – первомайская свита	*N_1kd_2 – среднекодринская подсвита*
N_1vl – валенская свита	*N_2st – стольниченская и N_2ml – милештская толщи*
N_1ml – молдавская свита	*N_2kl – каларашская и N_2nf – новофлорицойская свиты*
N_1kg – кагульская свита	*N_2pg– погребенская и N_2mn – минжирская свиты*
N_1tv – твардицкая свита	*$N_2k\check{c}$ – кучурганская и N_2ms – мусаитская свиты*
N_1gr – гауренская толща	*N_2bd – будештская и $N_2\check{s}\check{s}$ – шишканская (N_2kp–кышлица-прутская) свиты*
N_1kt – катериновская толща	*N_2bl – балцатская и $N_2b\check{c}$ – бучуменская свиты*

Рост рифов продолжался в течение позднего бадена – раннего сармата на фоне постепенного прогибания бортовой зоны шельфа и миграции рифостроящих организмов с запада на восток к более мелководному морскому дну, т.к. рифогенные организмы развиваются в условиях крайнего мелководья [14].

В раннем сармате продолжается рост Карпат. Акватория Галицийского залива постепенно расширяется к востоку, охватывая почти всю территорию ДПМ, за исключением зоны Нижнепрутского горста. В условиях мелководья накапливались карбонатные осадки, постепенно сменяющие баденские. Непрерывность осадконакопления фиксируют бугловские слои, содержащие смешанную верхнебаденскую и нижнесарматскую фауну [19].

В раннесарматском водоёме на северо-западе ДПМ (Крива – Дрепкауцы) сохраняется лагунная обстановка. Там накапливается толща (до 80 м) серых, зеленовато-серых сильно карбонатных глин с частыми прослоями мергелей, с остатками скелетов рыб и обуглившихся обломков древесины (зеленовская свита).

В мелководье развивается последовательный ряд фаций: от относительно глубоководной в периферической части шельфа (пелитоморфные и афанитовые известняки с прослоями мергелей рышканской свиты) до прибрежной в зоне юго-западного склона УЩ (оолитовые известняки и кварцевые пески распопенской свиты с характерной эрвилиево-мактровой фауной). К востоку и югу прибрежная фация (распопенская свита) сменяется мелководной с неустойчивым водным режимом (первомайская свита – чередование оолитовых, афанитовых, сгустковых, шламово-детритовых известняков, глин комковатых и мергелей). (Рис. 4).

В начале среднего сармата, местами еще в раннем сармате, на перегибе шельфовой зоны, на отмельных участках в пределах восточного побережья Галицийского залива развивались органогенные постройки Приднестровского берегового рифа (биогермные образования Кишиневско-Каменской полосы), которые на территории ДПМ протягиваются от Каменки до Яловен. Геофизическими и буровыми работами рифогенные образования прослежены на юго-запад по линии Чимишлия – Комрат – Кагул. [22, 23] Они представлены одиночными или небольшими группами (3-4) онкоидов, разобщёнными в пространстве на значительные расстояния. Приднестровский риф, также как Припрутский риф, представлен двумя фациями: фацией рифов (водорослевые и мшанковые известняки) и фацией шлейфов (афанитовые, сгустковые и фораминиферовые известняки). К зоне рифов приурочен специфический комплекс фауны – «кишиневская фауна» [11].

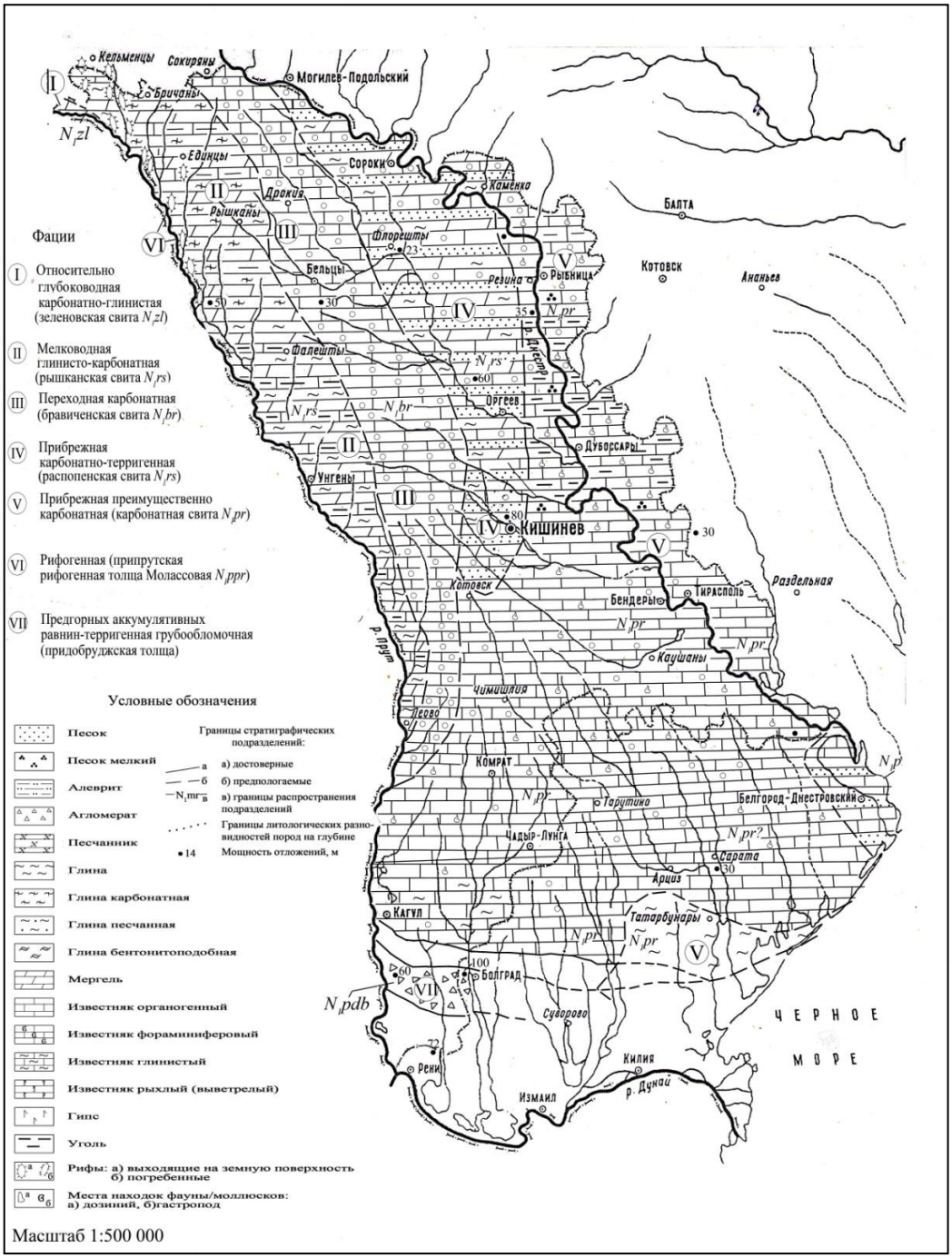


Рис.4. Схема литофаций волынского регио-подъяруса.
(по материалам И.В. Блюка, 1990 с добавлением автора).

Во второй половине среднего сармата в связи с Карпатскими орогеническими движениями, подъемом северной части ДПМ и заложением речной сети возникли

водные потоки. Вынос ими большого количества терригенного материала в сторону Приднестровского рифа прекратил развитие последнего. Существование в среднем сармате водных артерий подтверждается картированием мощных аллювиальных толщ в районе Теленешты – Гирово – Онешты (гировская толща) и Бравичи – Корнешты (паулештская толща) [15].

Приднестровский береговой риф разделил территорию ДПМ на две крупные фациальные зоны (восточную и западную), отличающиеся обстановками осадкообразования в среднесарматское время. В восточной (зарифовой) зоне развивались карбонатно-терригенные фации, в западной – преимущественно терригенные.

В начале среднего сармата Галицийский залив мелеет. В условиях обмелевшего водоёма накапливаются терригенно-карбонатные осадки (известковистые песчаники и песчанистые известняки), содержащие в большом количестве «карликовые» раковины Cardium aff. procarpatina Jek., C. aff. tibisii Jek., Mactra sp., Paphia cf. naviculata (Hoern), Hydrobia cf. elongata Eichw. и Cyclina sp. (рыбницкие слои) [19]. Встречаются также пресноводные Melanopsis impressa Krauss, на основании которых был сделан вывод об опреснении Галицийского бассейна и полном вымирании морских форм [19, 21]. Но известно, что меланопсииды были убиквисты и выходили из рек в морские бассейны [3]. А «карликовые» или мелкоразмерные формы моллюсков могут развиваться в мелководных бассейнах вследствие активной популяции. К тому же в рыбницких слоях наряду с «карликовыми» формами присутствуют крупные (до 3 см) Mactra pallasi (Baily). Опреснение Галицийского бассейна в рыбницкое время, вероятно, происходило, но оно не было столь апокалиптическим.

Биофация «карликовых» или мелкоразмерных моллюсков постепенно сменяется диатомовой фацией диатомитового горизонта (мономинеральные диатомиты, диатомитовые глины и мергели, диатомитовые известняки, прослои вулканогенных пород). Литологическая неоднородность диатомитового горизонта – парадоксальная парадигма.

В глобальном аспекте мономинеральные диатомиты образуются в пелагических условиях при пониженных температурах морской воды [9]. В ДПМ пласты мономинеральных диатомитов распространены спорадически в узкой прирусловой зоне р.Днестр, которая в начале среднего сармата принадлежала к мелководной фации. К тому же диатомиты не выдержаны по химическому и петрографическому составу. Наблюдаются переходы мономинеральных диатомитов в диатомитовые глины (мергели) и известняки. Диатомитовые известняки образуются в зоне сублиторали, а диатомитовые глины (мергели) – в условиях крайнего мелководья. В глинах встречаются многочисленные растительные остатки и отпечатки: папоротников, хвощей, листьев деревьев, а также копролиты и следы ползанья червей. В разрезах нередко наблюдается чередование различных петрографических разновидностей диатомитовых пород. Такая неоднородность разрезов возможна только в обстановке быстрой смены условий осадконакопления, т.е. периодического замыкания морского бассейна [9].

Ассоциации диатомитовых пород соответствует кардид-мактровая биофация с руководящей формой Cryptomactra pseudotellina Andr. и петриканский комплекс млекопитающих.

Стратиграфическое положение рыбницких слоев и диатомитового горизонта остается неопределенным. Их относили то к верхам нижнего сармата [17], то к

низам среднего сармата [19], то к нижнему и среднему сармату одновременно [2]. Рыбницкие слои и диатомитовый горизонт Зарифовой (восточной) зоны сопоставляются со слоями с Cryptomactra pseudotellina Andr. Западной зоны [19].

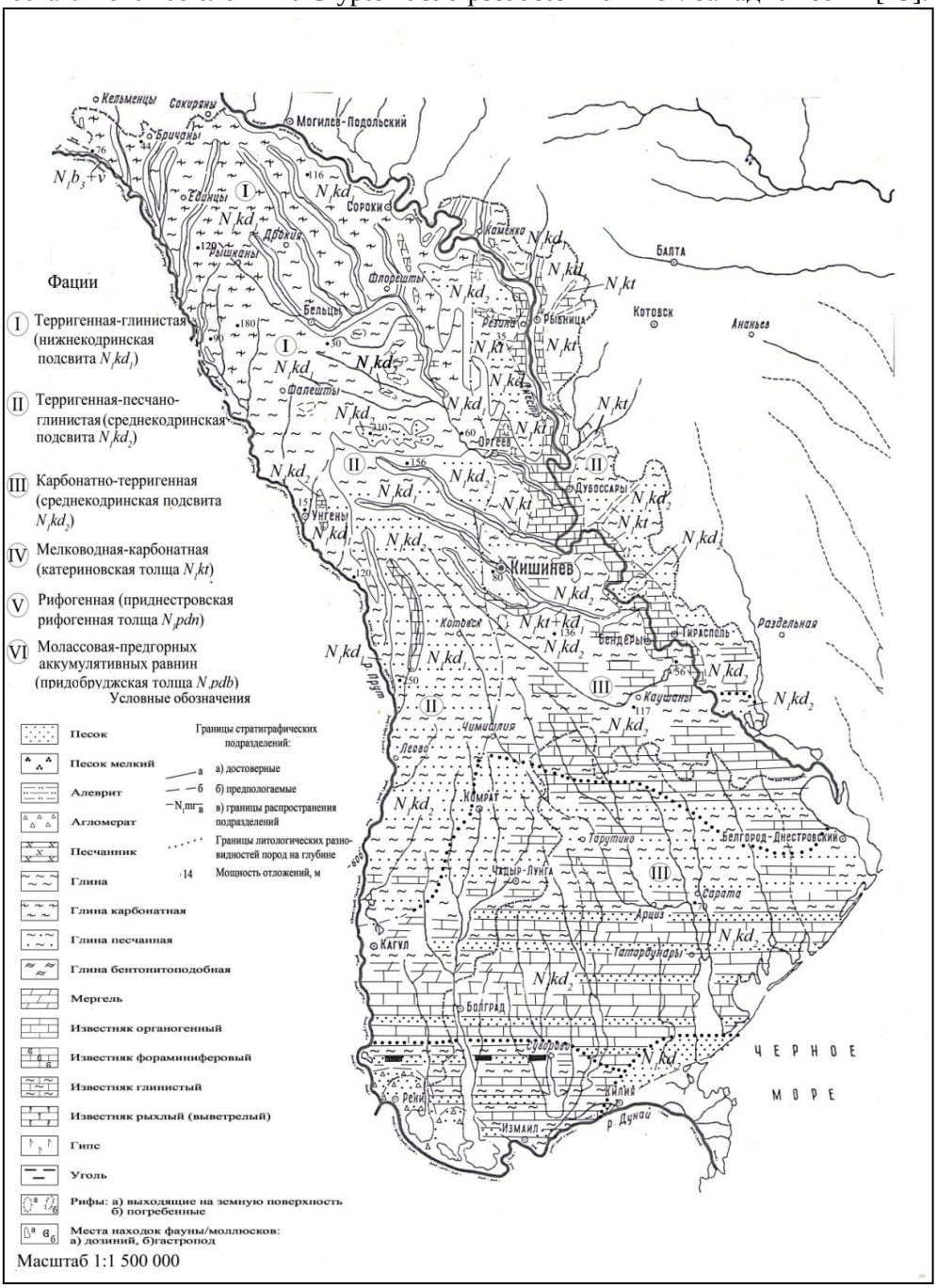


Рис.5. Схема литофаций бессарабского регио-подъяруса.

В первой половине среднего сармата происходило повышение уровня моря и расширение акватории Галицийского залива до Южного Буга

(максимум среднесарматской трансгрессии). К западу от Приднестровского рифа и, частично, в пририфовой зоне в первой половине среднего сармата накапливались песчано-глинистые отложения с прослоями известняков кодринской свиты (нижняя и средняя подсвиты). (Рис. 5) [5].

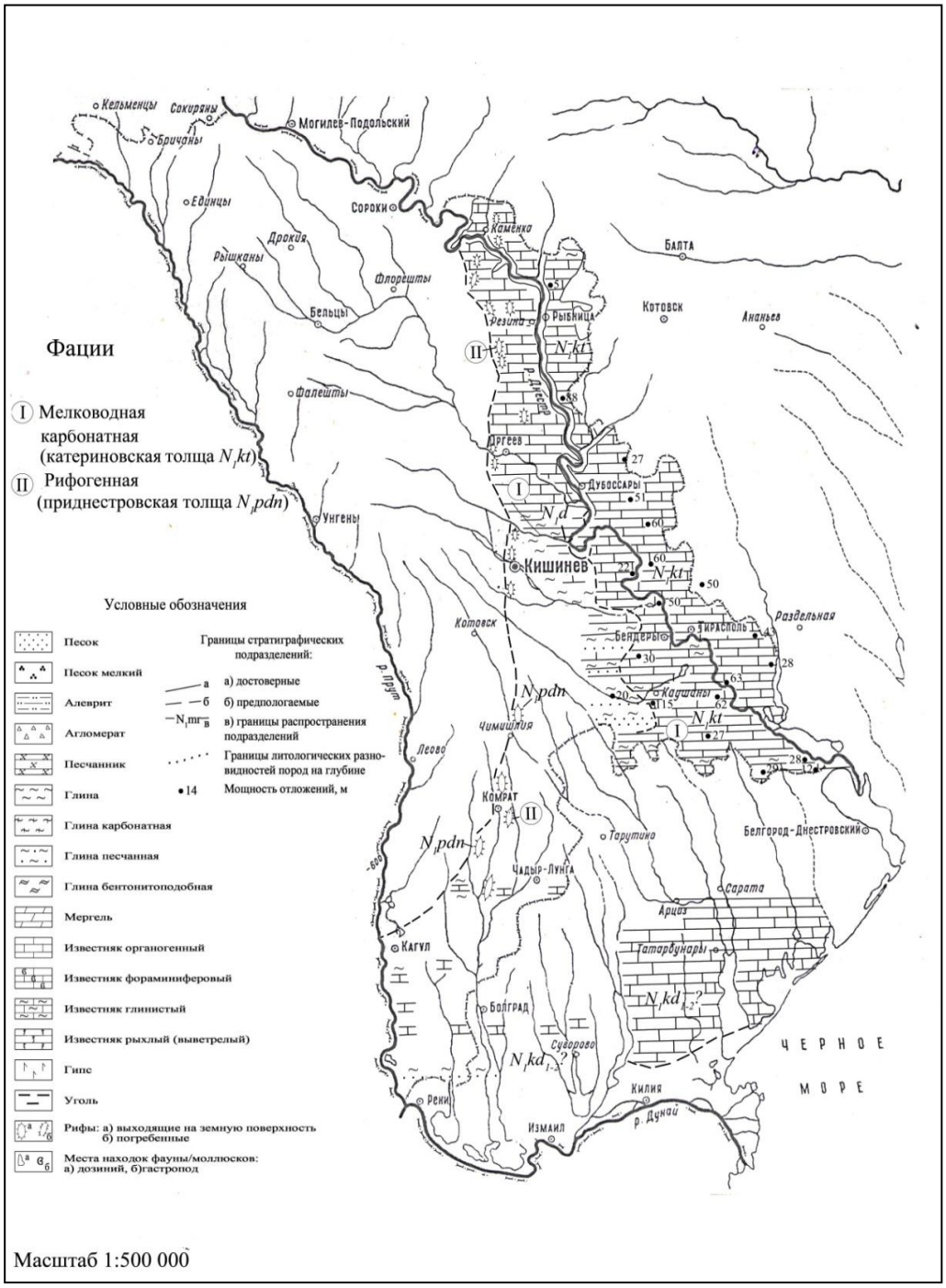


Рис.6. Схема литофаций катериновской толщи.

К востоку от Приднестровского рифа в раннекодринское время в мелководной среде отлагались карбонатные илы катериновской толщи [10] (Рис. 6).

Нижнекодринская подсвита отлагалась в зоне приглубинного шельфа (голубовато-серые сильно карбонатные глины с редкими прослоями пелитоморфных и детритовых известняков и с маломощными прослоями вулканогенных туфов и пеплов). В глинах и известняках встречаются мелкие калиптры и строматолиты, чешуя и кости рыб. Подсвите соответствует биофация кардид, в основании подсвиты характерна форма Cryptomactra pesanseris (Mayer-Eymar). К кровле подсвиты приурочен калфинский комплекс млекопитающих [13].

Среднекодринская подсвита отвечает прибрежным условиям осадкообразования (пески, алевриты, глины с прослоями оолитовых и органогенно-детритовых известняков) с кардид-мактровой биофацией и варницким комплексом млекопитающих [13].

Постепенное огрубление осадочного материала от карбонатных глин к алевритам и пескам с прослоями оолитовых и обломочных известняков свидетельствует об обмелении среднесарматского бассейна.

Литология представлена неравномерно-слоистыми или косослоистыми оолитовыми известняками с резко подчиненным содержанием пелитоморфных, криптоводорослевых и детритово-ракушечниковых известняков, что свидетельствует о крайне мелководном, прибрежном формировании катериновской толщи. Биофация состоит преимущественно из сестонофагов, приспособленных к обитанию на подвижном донном грунте (Musculus naviculoides (Koles.), Donax lucidus Eichw., Venirupis vasluensis (S.et B.), Mactra pallasi pallasi Baily., Mactra podolica Eichw., Cerastoderma ingratum (Koles.,), C.desperatum (Koles.,) и др. [11, 16].

Во второй половине среднекодринского времени в связи с общим неравномерным подъемом территории ДПМ происходит ее структурная перестройка. Если с начала раннего бадена до середины среднекодринского времени преобладала трансгрессивная фаза развития (трансгрессия распространялась со стороны Карпат (с запада на восток), то со второй половины среднекодринского времени возобладали регрессивные процессы. Море стало смещаться к югу. Большая часть отложений среднекодринской подсвиты на севере ДПМ была размыта. Вслед за отступающим морем продвигались водные потоки, которые отлагали аллювиальные наносы.

К началу позднего сармата береговая линия сместилась до линии сёл Бужор - Кожушна – Загайканы – Ваду-луй-Водэ – Карманово. На месте отступившего моря возникла низменная суша, где накапливались аллювиальные и озёрные осадки. Таким образом, в позднем сармате сложились две обстановки осадкообразования: морская (мерешенская толща) и континентальная (верхнекодринская подсвита) (Рис.7). В морской, крайне мелководной обстановке (замкнутый или полузамкнутый водоём), сформировался терригенно-карбонатный комплекс пород с биофацией угнетенных, деградированных мактр (Mactra caspia Eichw., M. bulgarica Toula, M. nalivkini (Koles.), M. crassicolis Sinz., редко с пресноводными Planorbis sp., Hydrobia cf. ventrosa (Mtg.), Limnea sp., Unio sp. Одновременно с сокращением акватории позднесарматского бассейна шло его опреснение за счет рек, стекавших с Карпат. Опреснение изменило состав фауны: Mactra fabriana d'Orb выродилась в мелкую форму Mactra bulgarica Toula; фауна обогатилась пресноводными видами [27]. В континентальной обстановке

накапливался обломочный материал: алевриты, пески с биофацией редко встречающихся пресноводных и наземных видов моллюсков.

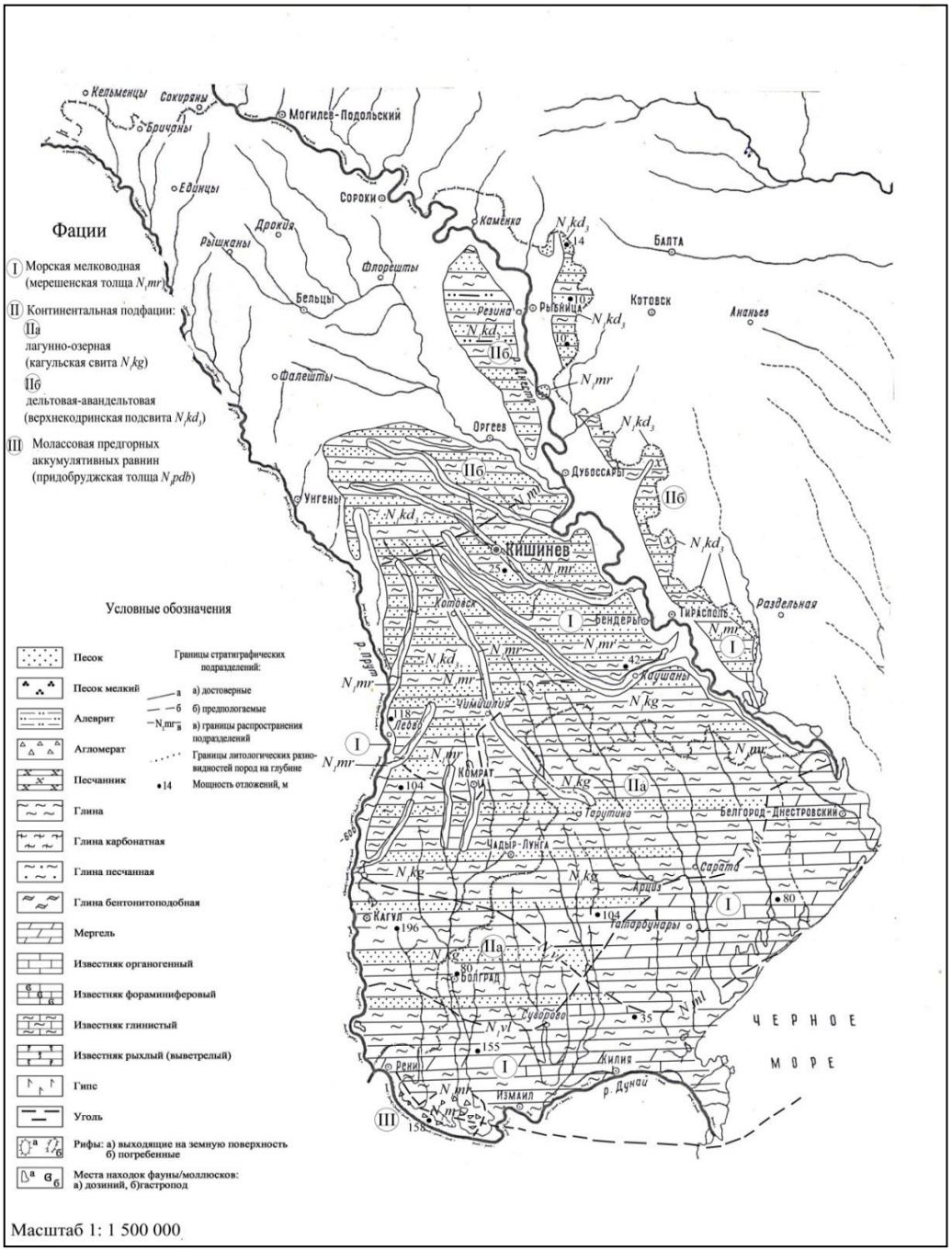


Рис.7. Схема распространения литофаций херсонского регионодъяруса: мерешенской толщи, верхнекодринской подсвиты и кагульской свиты.

В мэотическое время море отступает дальше на юг. Устойчивые морские условия существовали только в раннем мэотисе в узкой полосе: устье

Прута – низовье Дуная (Валены – Измаил), несколько расширяясь на восток и северо-восток (рис.8). В условиях крайнего мелководья полузамкнутого или замкнутого полуморского бассейна с соленостью от 5-8 до 30‰ отлагались преимущественно глины с редкими прослоями известняков-ракушечников и алевритов (валенская свита) с дозиниевой биофацией (Dosinia maeotica Andr.) [20].

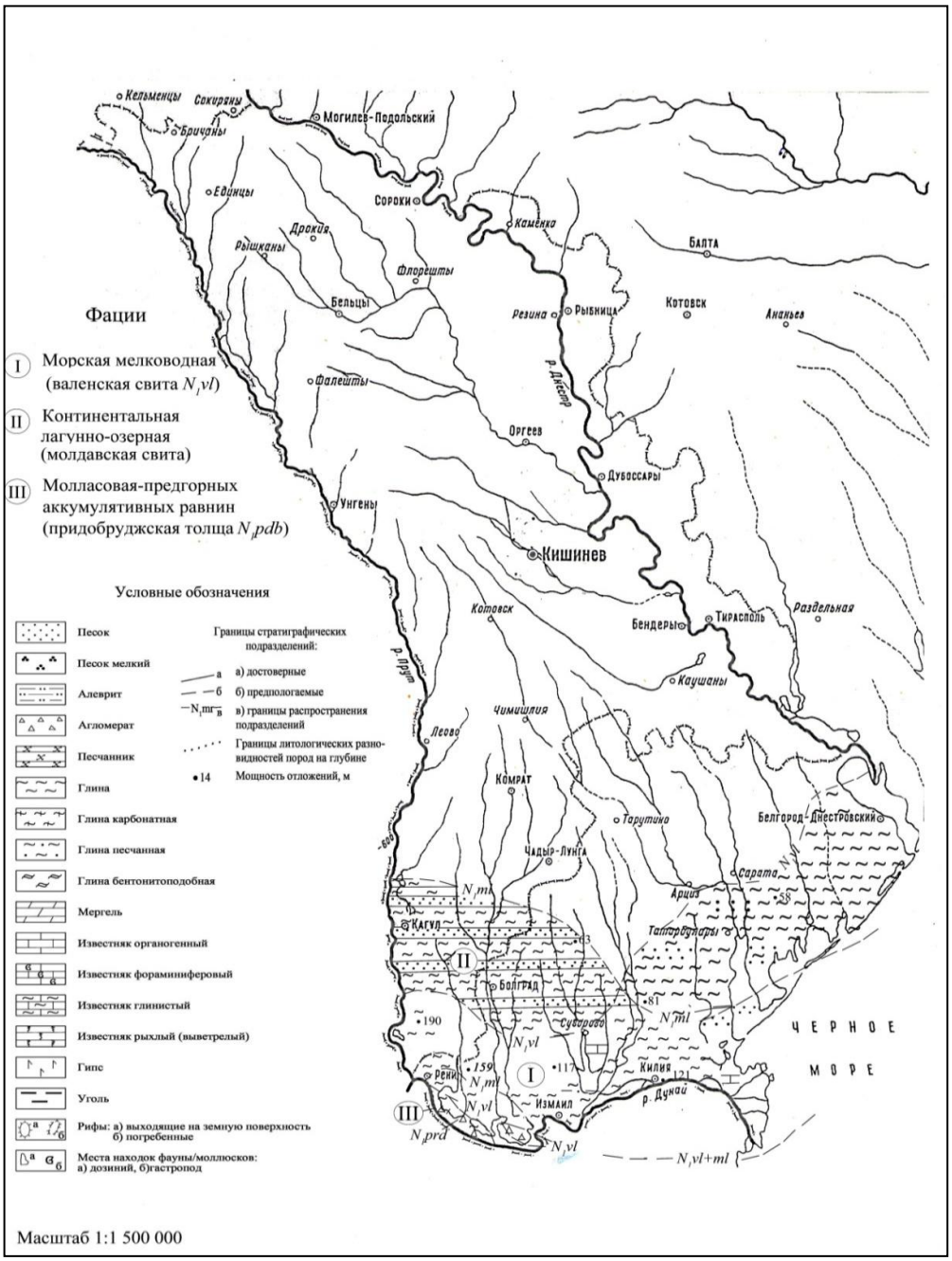


Рис.8. Схема распространения литофаций мэотического яруса.

В позднем мэотисе мэотическое море распалось на ряд солоноватоводных (с соленостью от 0,5 до 5-12‰) и пресноводных водоёмов, развивались поверхностные водотоки. В субконтинентальных условиях накапливались дельтовые, авандельтовые, озерные и лиманные отложения – глины, алевриты, пески с дрейссена-конгериевой биофацией (Congeria novorossica Sinz., C.panticapea Andr., Dreissena polymorpha (Pall.) [20] и чобручевской фаунистической группировкой гиппарионовой фауны [13].

Севернее границы распространения мэотических фаций во временном интервале поздний сармат – мэотис (в стратиграфическом диапазоне от морского верхнего сармата до понта) в континентальных условиях от Прута до Южного Буга накапливалась мощная (более 260 м) толща серовато-зеленых комковатых глин с редкими маломощными прослоями песков, алевритов, местами – бурого угля с биофацией унионид (кагульская свита) [18]. Севернее границы распространения понтических отложений кагульской свите соответствует верхнекодринская подсвита песчано-глинистых отложений.

В первой половине понтического времени развивается трансгрессия с юга, с акватории Эвксинского бассейна. Северная граница распространения понтического моря в пределах ДПМ достигала линии Кочулия – Чимишлия – Чуфлешты – правобережье р. Ботна и правобережье низовьев р. Днестр. В раннем понте в условиях неустойчивого мелководья существовали три обстановки осадкообразования: прибрежная, континентальная (дельтовая, лиманно-озёрная) и предгорных равнин (молассовая). В этих условиях отлагались преимущественно песчано-глинистые и карбонатные осадки ялпугской и виноградовской свит [6] новороссийского подъяруса с прослоями бурого угля в глинах. А в приустьевой части реки Прут – хлидолиты молассовой фации (Рис. 9). Эвстатические колебания уровня моря обусловили перемежаемость отложений и фауны, когда наряду с морскими видами Dreissensia, Prosodacna, Monodacna встречаются солоноватоводные Congeria и даже пресноводные Hydrobia, Lithoglyphus, Melanopsis и др.

В конце раннего понта море постепенно мелеет и замыкается. На его месте в междуречье Днестр-Ялпуг-Дунай образуется крупный водоём, в котором в эвапоритовых условиях накапливается толща (до 30 м) пестроцветных гипсоносных глин твардицкой свиты [6] (Рис.9).

В киммерийское время морская обстановка осадконакопления в ДПМ существовала только в узкой полосе, в приустьевой части р. Прут (Джурджулешты - Рени). Здесь на поверхности размыва новороссийского подъяруса понта залегает песчано-алеврито-глинистая толща мощностью более 120 м (придунайская свита) [6], отнесенная В.В. Богачевым к дакийско-куяльницким отложениям [3]. В ней содержится богатая фауна палюдин с криптогенной формой Viviparus ovidii nasonis, не имеющей предков в палюдиновых отложениях Дунайского и Эгейского бассейнов и с специфической формой Prosodacna rumana (Front.) [7, 8]. Встречаются также виды, характерные для киммерийских отложений Эвксинского бассейна и дакийских отложений Гетского бассейна. Этот факт может свидетельствовать о взаимосвязи бассейнов и взаимопроникновении понтокаспийских и среднедунайских комплексов моллюсков [8, 28].

В киммерийское время, вероятнее, и ранее, с отступлением сарматского моря севернее береговой линии формировалась суша, которая перекрывалась аллювиальными отложениями «гауренской толщи» [6], представленными преимущественно песчано-гравийным материалом.

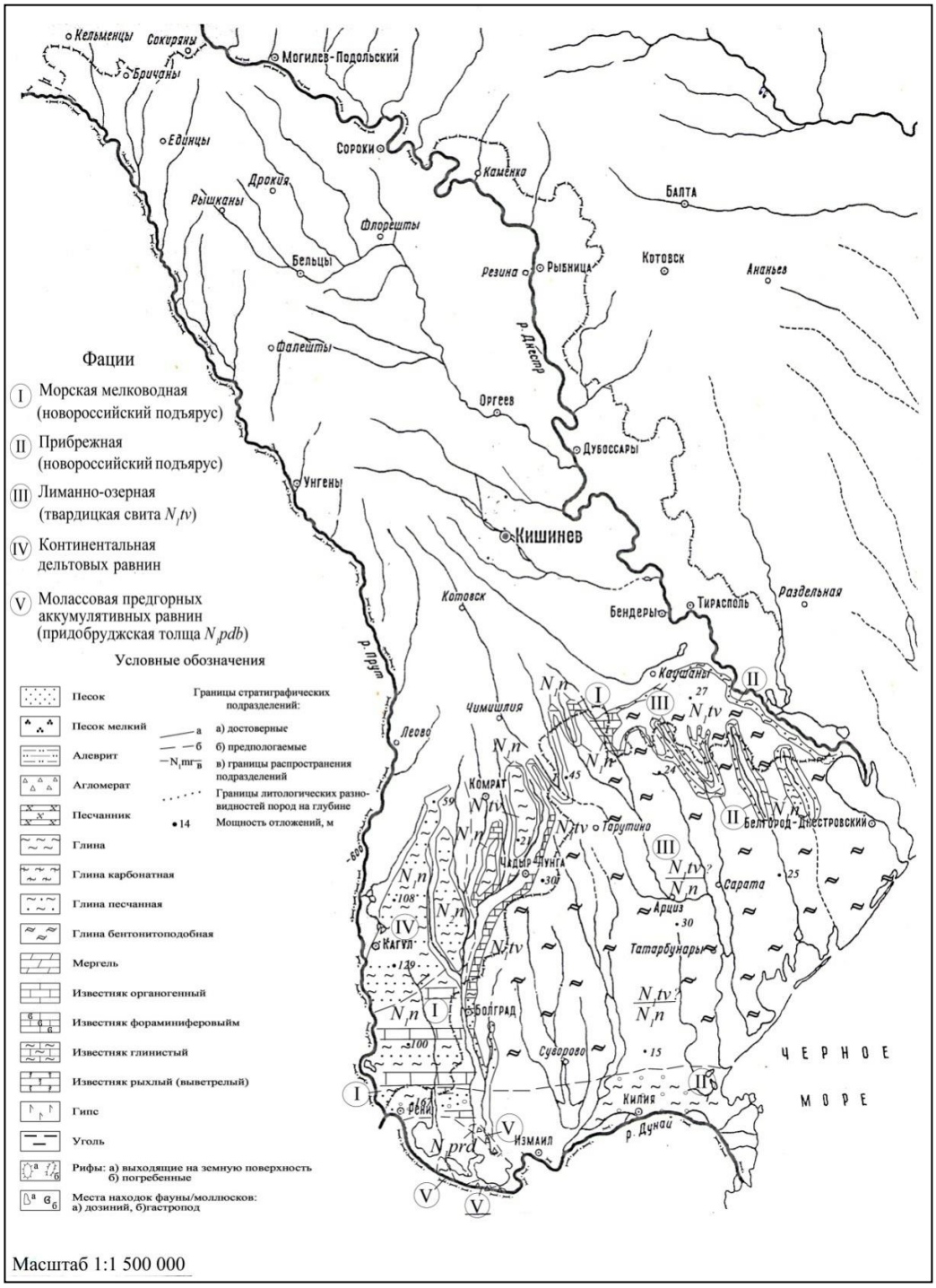


Рис.9. Схема распространения литофаций понтического региояруса.

В плиоцен-четвертичное время в обстановке неравномерного поднятия территории ДПМ осадкообразование происходит в основном в долинах рек.

(Рис. 10). Накапливались аллювиальные отложения с биофацией пресноводных моллюсков и субаэральные (лессово-почвенный комплекс) отложения с биофацией наземных моллюсков.

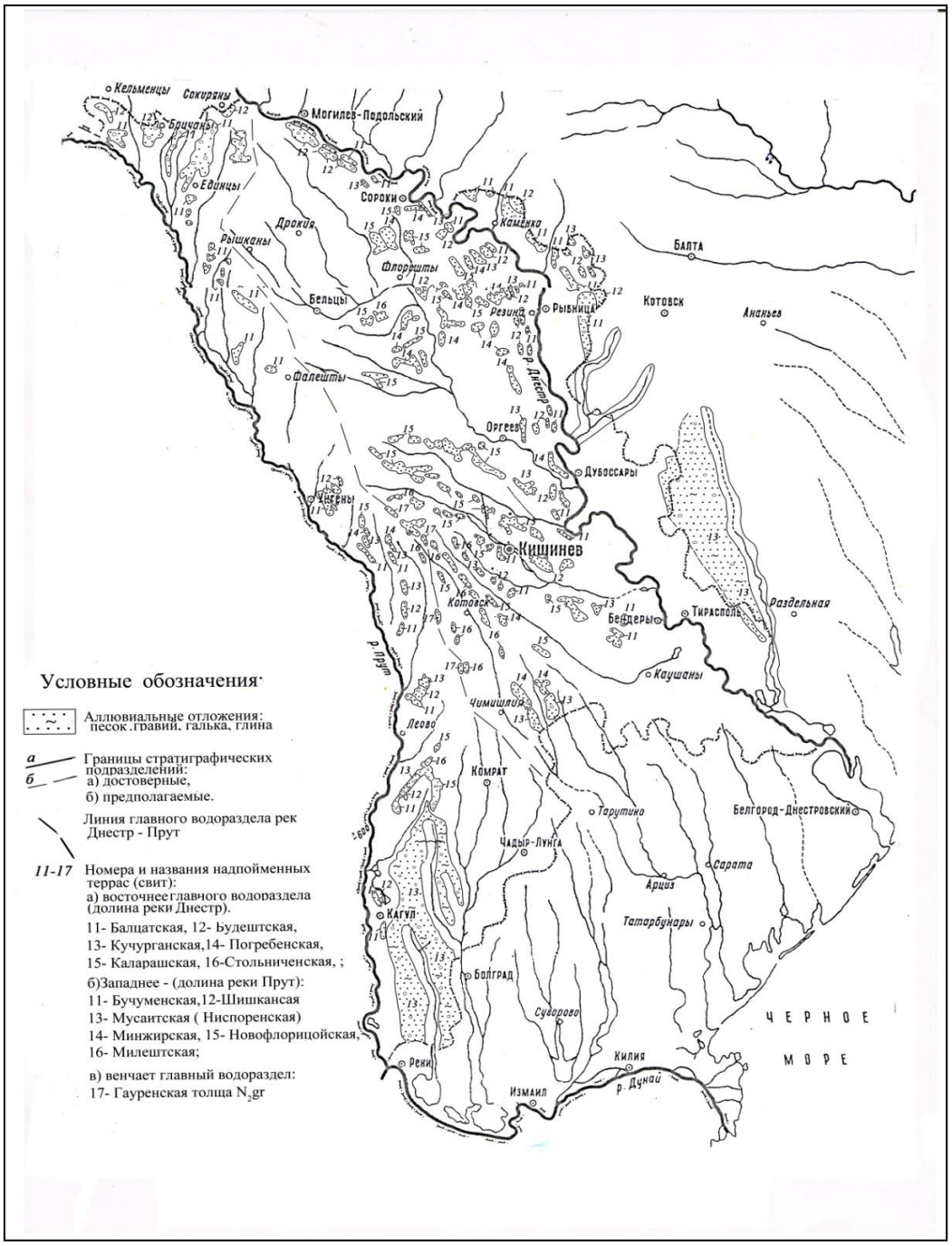


Рис.10. Схема распространения континентальных позднемиоценовых плиоценовых аллювиальных отложений.

Выводы

1. В среднем миоцене – раннем плиоцене на юго-западе Восточно-Европейской платформы (в пределах ДПМ), в связи с заложением и развитием Карпатской горно-складчатой системы, происходят трансгрессивно-регрессивные процессы, которые определили различные седиментационные обстановки.
2. Анализ геологического развития территории ДПМ позволяет выделить два крупных этапа осадконакопления: трансгрессивный (средний баден – середина среднего сармата) и регрессивный (вторая половина среднего сармата – понт). В трансгрессивный этап сохраняется непрерывная и устойчивая тенденция расширения морского бассейна от Предкарпатья на восток. В регрессивный этап в связи с общим подъемом территории ДПМ и её структурной перестройкой море смещается к югу.
3. Каждому временному интервалу присуща та или иная обстановка осадконакопления. Но в одном и том же седиментационном бассейне существуют разные условия осадкообразования. В связи с неустойчивостью тектонического режима ДПМ в миоцене происходило сосуществование и наложение различных фаций.
4. Трансгрессия и регрессия – это продолжительные устойчивые в пространственно-временном отношении геологические процессы, но неравномерные. При трансгрессии возможно кратковременное локальное отступление («откат») моря, при регрессии – наступление («всплеск»). Выделение нескольких трансгрессивно-регрессивных циклов в бадене – сармате неверно. Ибо такие «откаты» и «всплески» не определяют основную тенденцию процесса и могут быть отнесены только к категории «псевдотрансгрессии» и «псевдорегрессии». Как выше отмечено, со среднего бадена до середины среднего сармата сохранялась устойчивая трансгрессивная тенденция, а со второй половины среднего сармата до понта – устойчивая регрессивная тенденция.
5. Присутствие солоноватоводной, или даже пресноводной фауны в морских отложениях не является однозначным признаком опреснения бассейна или знаком регрессии моря. То же и наличие прослоев грубообломочного материала. В первом случае это может быть связано с экологическими особенностями организмов, во втором - с климатическим режимом, динамикой моря и характером гидрографической среды.
6. Формирование среднесарматских мономинеральных диатомитов в узкой прирусловой полосе палеодолины р. Днестр происходило, вероятно, в условиях малого бассейна, в который периодически поступали питательные вещества из открытого моря, способствующие популяции диатомитовых водорослей. Диатомитовые глины отлагались в обстановке крайнего мелководья, вероятно в лиманных или озерных условиях.
7. На юго-западе ДПМ, в низовье Прута и Дуная в течение раннего сармата - раннего понта формировалась фация предгорных аккумулятивных равнин (агломераты или хлидолиты, представленные песчано-древесным материалом с глинистым цементом – продуктами разрушения массива Северной Добруджи). Севернее, в крайне мелководных условиях в этот же временной диапазон отлагались глины и детритовые известняки с прослоями бурого угля.

Литература

1. Андрусов Н.И. Избранные труды. Т. 1. Изд. АН СССР. Москва, 1961. 711 с.
2. Блюк И.В. Отчет. Литолого-фациальный анализ неогеновых отложений Молдавской ССР. 1990 г., 57 с. Фонд AGRM.
3. Богачев В.В. Материалы к истории пресноводной фауны. Киев, 1961, с. 45.
4. Букатчук П.Д., Негодаев-Никонов К.Н. Новые данные о древнейших аллювиальных отложениях в междуречьях Прута, Днестра и Южного Буга // Палеонтология, геология и полезные ископаемые Молдавии (палеонтология и стратиграфия). Вып.2, Кишинев, РИО АН МССР, 1967.
5. Букатчук П.Д., Конев Ю.М., Покатилов В.П.и др. О расчленении пород среднего сармата к западу от Кишиневско-Каменской рифовой гряды // Геологическая структура и рельеф Молдавии. Кишинев, «Штиинца», 1979, с. 34-48.
6. Букатчук П.Д., Блюк И.В., Покатилов В.П. Геологическая карта Молдавской ССР. Объяснительная записка. Кишинев, 1988, с. 148-151.
7. Гожик П.Ф., Чирка В.Т. Новые данные о плиоценовых отложениях низовий Прута и Дуная и вопросы их корреляции // О нижней границе четвертичного периода (к IX Конгрессу JNQA). Киев, «Наукова думка», 1973, с. 66-72.
8. Гожик П.Ф. Руководящие моллюски и корреляция верхнекайнозойских аллювиальных отложений юга Восточно-Европейской платформы // Автореферат диссерт.на соиск.уч.степ.доктора геол.-мин.наук. Киев, 1992, 40 с.
9. Дженкинс Х.К. Пелагические фациальные обстановки // Обстановки осадконакопления и фации. Москва, «Мир», 1990, с. 111-113.
10. Захаров А.Д. (отв.исп.). Отчет. Геологическое строение и полезные ископаемые Резинского горнопромышленного района. Дубоссары, 1987 г. Фонд AGRM.
11. Колесников В.П. Сарматские моллюски // Палеонтология СССР, т. 10, ч. 2. Изд. АН СССР, 1935.
12. Королюк И.К. Подольские толтры и условия их образования // Тр. ГИН АН СССР, вып. 10, геол.серия (бб), 1952, 130 с.
13. Лунгу А.Н. Ранние этапы развития гиппарионовой фауны континентального обрамления Паратетиса // Автореферат диссерт.на соиск.уч.степ.доктора геол.-минер.наук. Тбилиси, 1990 г., 36 с.
14. Офман И.П. Условия формирования обращенных структур платформенных областей // Геотектоника, 2009, № 5, с. 65-73.
15. Поздняков И.А. (отв.исп.). Отчет. Комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1: 50000 для целей мелиорации массива орошения Икель – Чулук. Кн. 1. Кишинев, 1990 г., с. 86-124. Фонд AGRM.
16. Поздняков И.А. (отв.исп.). Отчет. Геологическое строение, гидрогеологические и инженерно-геологические условия площади Тираспольского листа. Кишинев, 1992 г. Фонд AGRM.
17. Рошка В.Х. Схема стратиграфии сарматских отложений Молдавии. Изв. АН МССР, 1967, № 4.
18. Рошка В.Х., Мицул Е.З. О возрасте континентальных глин верхнего миоцена Северо-Западного Причерноморья // Изв. АН Молдавской ССР, № 4, 1967. Кишинев, с. 67-71.
19. Рошка В.Х. Миоцен // Геология СССР. Т. XLV, Молдавская ССР. 1969, с. 137-171.

20. Рошка В.Х. Моллюски мэотиса Северо-Западного Причерноморья. Изд. «Штиинца». Кишинев, 1973, с. 60-75.
21. Рошка В.Х. Современное понимание геологической истории сарматского бассейна и его значение для стратиграфии // Биостратиграфические основы построения стратиграфических схем фанерозоя Украины // Сб.научн.трудов ИГН НАН Украины. Киев, 2008, с.420-423.
22. Рыборак В.М. (отв.исп.). Отчет. Геологическое строение и полезные ископаемые Среднего Приднестровья. 1990 г. Фонд AGRM.
23. Саянов В.С. Состав, строение и происхождение среднесарматских биогермов Молдавской ССР // Уральский филиал АН СССР. Тр.третьей литологической сессии. Свердловск, 1968, с. 210-225.
24. Семененко В.Н., Андреева-Григорович А.С., Маслун Н.В., Люльева С.А. Прямая корреляция неогена Восточного Паратетиса с Международной океанической школой по планктонным микрофоссилиям // Геол.журнал, 2009, № 4, Киев, с. 9-27.
25. Эберзин А.Г. Неоген Молдавской ССР. Науч.зап. Молд.науч.иссл.базы АН МССР, 1948, т. 1, вып. 1. с.19-40.
26. Янакевич А.Н. Среднемиоценовые рифы Молдавии. Кишинев, «Штиинца», 1977, с. 11-36.
27. Яцко И.А. Континентальные фации в верхнем неогене юга УССР и их униониды // Тр. Одесского Универ. Т. 149, вып. 6. 1959, с. 22-23.
28. Vasiliev I., Krijgsman W., Langerios C. A new Chronology for the Dacian Basin (Romania). Mededelingen van de Faculteit Geowetenschappen Universiteit Utrecht, № 267, p.23-87.

Primit la redacţie – 6 iulie 2016

УДК 550.343

Павлов П.П.

Применение метода статистических испытаний для решения одной из прогностических задач сейсмологии

Abstract

The application of statistical trials (the Monte Carlo method) for solving the predictive problem in the field of seismology has been investigated. This method has been applied for assessing the forecastable evaluation of block-averaged quarterly building damages caused by strong earthquakes. The applicability and the potential of the method for evaluating construction vulnerability to natural destructive actions have been identified.

Keywords: *Monte Carlo method, earthquakes, buildings, damage, loss prediction.*

Rezumat

A fost examinată aplicarea metodei probelor statistice (metoda Monte Carlo) la soluționarea unei probleme de prognozare în seismologie. Metoda a fost aplicată la evaluarea gradului mediu predictiv de avariere a clădirilor din cauza cutremurilor puternice. A fost demonstrată aplicabilitatea și perspectivitatea acestei metode petru evaluarea vulnerabilității obiectelor și construcțiilor supuse acțiunilor dăunătoare naturale.

Cuvinte cheie: *metoda Monte Carlo, cutremure, clădiri, deteriorări, prognozare pierderi.*

Резюме

Рассмотрено применение метода статистических испытаний в решении одной из прогностических задач сейсмологии. Процедура метода применена для оценки прогнозируемой среднеквартальной повреждаемости зданий от сильных землетрясений. Отмечены применимость и перспективность метода для оценки уязвимости объектов и конструкций по отношению к опасным природным воздействиям.

Ключевые слова: *метод Монте-Карло, землетрясения, здания, повреждения, прогнозирование потерь.*

Метод статистических испытаний, как инструмент решения прогностических задач

Метод статистических испытаний (МСИ), называемый по-другому методом Монте-Карло, широко используется для решения разнообразных математических задач, а также для статистического моделирования физических, химических, биологических, экономических, социальных процессов. Особенно эффективен он при решении прогностических задач, когда объект исследования, либо искомое решение зависит от параметров или функций случайного характера [1].

В сейсмологии основные явления и понятия (землетрясения, уязвимость, риск) имеют вероятностную природу. Оценка сейсмического риска, сценарии опасных природных событий базируются на величинах стохастического характера, статистические характеристики которых получают из накопленных данных или из теоретических предпосылок. Для анализа данных макросейсмики, построения

прогнозов и сценариев последствий природных явлений МСИ может послужить очень эффективным инструментом.

МСИ можно определить как численный метод, использующий моделирование исходных случайных величин, их дальнейшее математическое преобразование на основе закономерностей исследуемого процесса с целью получения выходных статистических оценок для анализируемых величин. В случае моделирования стохастического процесса суть МСИ заключается в проведении большого числа реализаций процесса, параметры которого являются случайными величинами с известными вероятностными характеристиками. Во время расчета в каждой реализации для каждой случайной величины генерируется случайное значение, подчиняющееся заданному закону распределения. После проведения компьютерной генерации многократных испытаний получается распределение вероятностей возможных значений интересующей нас результирующей величины или функции. Статистические характеристики полученного распределения дают важную информацию для анализа и выработки прогноза.

Моделирование по методу статистических испытаний имеет ряд преимуществ по сравнению с детерминистским анализом:

- Результаты демонстрируют не только возможные исходы событий, но и вероятность их наступления.
- Анализ чувствительности. При проведении МСИ моделирования можно увидеть, какие исходные данные оказывают наибольшее воздействие на конечные результаты.
- Анализ сценариев. Применяя МСИ, аналитики могут определить, какие исходные данные приводят к тем или иным результатам, и проследить наступление определенных последствий.
- Корреляция исходных данных. МСИ позволяет моделировать взаимозависимые отношения между исходными переменными. Для получения достоверных сведений необходимо представлять себе, в каких случаях при увеличении некоторых факторов соответствующим образом возрастают или снижаются другие.

При моделировании вероятностного события посредством МСИ составляется программа расчёта результата одного случайного испытания, затем испытание повторяется требуемое количество раз, причем каждый опыт не зависит от остальных, т.к. значения каждого из стохастических параметров задаются с помощью генерируемых случайных чисел. Затем результаты всего множества опытов подвергаются статистическому анализу. Такая процедура получила название «метод статистических испытаний».

Метод характерен двумя основными особенностями:

1. Простота алгоритма вычислений. Достаточно составить программу для расчёта отдельного испытания. Далее такие расчёты повторяются многократно, причём каждое испытание не зависит от остальных. Затем вся совокупность результатов статистически анализируется.
2. Ошибка вычислений медленно уменьшается с увеличением общего числа испытаний. Для увеличения точности на один порядок надо увеличить число попыток в 100 раз. Поэтому число испытаний обычно достигает нескольких тысяч.

Для применения метода статистических испытаний при решении прогностических задач разработаны специальные программные комплексы. Среди программных продуктов, применяемых для реализации МСИ, наиболее известны следующие: «@Risk» компании «*Palisade* Corporation», «Crystal Ball» компании «Decisioneering», «Альт-инвест» фирмы «Альт». Для случаев, не требующих высокой степени надёжности статистических оценок, расчёты могут быть произведены с использованием встроенных статистических функций редактора «Microsoft Excel», в котором случайные числа генерируются с помощью функции СЛЧИСЛ. В пакете программ MATLAB для генерации случайных чисел служит функция rand.

Пример применения метода статистических испытаний в области макросейсмики

В качестве демонстрации возможностей МСИ рассмотрим применение данного метода при оценке сейсмического риска для городской застройки. Один из способов такой оценки основывается на поквартальной средней повреждённости зданий [2].

При составлении карты сейсмического риска Кишинёва прогнозировалась величина повреждений зданий от вероятного сейсмического воздействия интенсивностью порядка 7,5 баллов [2]. В качестве такой прогнозной оценки определялось среднее значение повреждённости зданий для каждого из кварталов города. Поскольку здесь мы имеем дело со статистическими переменными, уместно рассмотреть, как можно получить прогнозную оценку средствами МСИ. В качестве примера возьмём один из кварталов центра города, включающий здания разной сейсмостойкости, классифицированные согласно сейсмической шкале MMSK-92: 6 домов несейсмостойкого типа *A*2, 3 дома типа *B*, средней прочности, и 4 здания сейсмостойкого типа *C*7 (квартал 199 центральной части города [3]).

Статистические характеристики повреждённости для каждого типа сейсмостойкости зданий конкретно для г. Кишинёва можно получить из базы макросейсмических данных [3]. В этой базе представлены данные о степенях повреждений после воздействия землетрясения 1986 г. интенсивностью 7 баллов. Эти значения можно экстраполировать на предполагаемое событие интенсивностью 7,5 баллов, пользуясь соответствующей таблицей перерасчёта повреждаемости различных типов зданий в зависимости от интенсивности землетрясений [4]. Дополнительно должна быть сделана поправка на физический износ зданий за истекший с 1986 г. период [5], а также сейсмический износ - дополнительное ослабление прочности зданий вследствие перенесённых сильных землетрясений [6].

В результате для зданий типа *A*2, *B* и *C*7 получим прогнозируемое распределение повреждаемости, показанное на рис.1 – 3 в виде гистограмм частот попадания в различные интервалы степеней повреждённости *d*.

Для удобства формализации вычислений эмпирическое распределение случайной величины нужно аппроксимировать какой-либо теоретической функцией распределения. Для выбора наиболее подходящей теоретической функции, аппроксимирующей дискретное эмпирическое распределение, пользуются критериями, которые разработаны для проверки гипотезы о принадлежности статистической выборки некоторому закону распределения. Чаще всего используются критерии Андерсона - Дарлинга [7] или Колмогорова - Смирнова [8]. На рис.1–3 сплошными линиями представлены графики теоретических функций, наилучшим образом аппроксимирующие эмпирические данные распределений повреждённости.

Для ожидаемой повреждённости зданий типа *A*2 оптимальной аппроксимацией, согласно критерию Андерсона - Дарлинга, оказалось распределение Beta, которое обычно используется для описания процессов, обладающих естественными нижним и верхним пределами (рис.1)

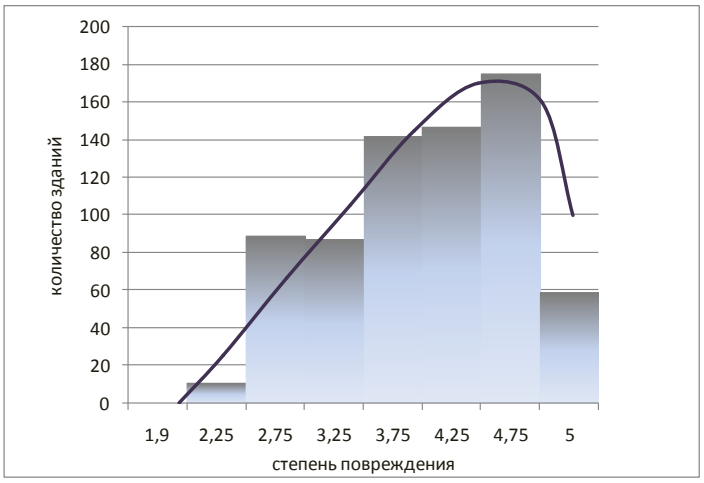


Рис.1. Прогнозируемое распределение степени повреждения зданий типа *A*2 при интенсивности землетрясения 7,5 баллов и его аппроксимация кривой распределения *Beta* (математическое ожидание 4,0; наиболее вероятное значение 4,75).

Обратим внимание на то, что математическое ожидание данного распределения (среднее значение) значительно отличается от наиболее вероятного значения.

Рис. 2. Распределение предполагаемых повреждений зданий типа *B* при воздействии интенсивностью 7,5 баллов, аппроксимирующееся нормальным распределением с математическим ожиданием 2,8 и стандартным отклонением 0,8.

Рис. 3. Распределение предполагаемых повреждений зданий типа *C*7 при воздействии интенсивностью 7,5 баллов, аппроксимирующееся распределением Вейбулла с математическим ожиданием 1,7 и наиболее вероятным значением 1,2.

Как видим, статистика повреждений имеет существенно различный вид для разных типов зданий, что отражает их класс сейсмоустойчивости. Так, для зданий типа А2, ветхих вследствие возрастной деградации и невысокой прочности материалов стен, наиболее вероятны сильные повреждения, вплоть до полного разрушения (рис. 1). Сейсмостойкие же здания (тип С7), рассчитанные на воздействие ожидаемой интенсивности, не испытают больших повреждений (рис. 3).

В рассматриваемой задаче компьютерная программа выполняет многократное вычисление среднегруппового значения повреждений зданий выбранного квартала по формуле:

$$d_{\text{кв}} = 1/N \sum_{i}^{N} d_i \qquad (1)$$

где: d_i –степень повреждения i-го здания;
N - число зданий в квартале.

При каждом отдельном независимом вычислении $d_{кв}$ все значения d_i отбираются случайным образом согласно аппроксимирующей функции распределения, соответствующей i-му типу здания. Разыгрывание случайной величины, распределённой по заданному закону, можно произвести методом обратной функции. Процедура получения значений случайной величины ξ, распределённой в интервале $[a,b]$ с плотностью $p(x)$, основана на следующей теореме: Если значения переменной ξ подчиняются уравнению:

$$\int_{-}^{\xi} p(x)\, dx = \gamma, \qquad (2)$$

где γ – случайная величина, равномерно распределённая (т.е. все её значения равновероятны) в интервале [0,1], то полученные значения величины ξ будут иметь плотность распределения $p(x)$ [9].

Левая часть уравнения (2) представляет собой интегральную функцию распределения величины ξ, т.е. это уравнение можно записать в виде $F(\xi) = \gamma$. Решение данного уравнения выражается через обратную интегральную функцию:

$$\xi = F^{-1}(\gamma). \qquad (3)$$

Итак, для того чтобы разыграть отдельное возможное значение d_i, надо «наугад» выбрать равномерно распределённое случайное число x_i, приравнять его функции распределения $F(d)$ и решить относительно d_i полученное уравнение $F(d_i) = x_i$. Генератор случайных чисел (функция СЛЧИСЛ редактора Excel) выдаёт значение x_i случайного числа, произвольно выбранное из непрерывного множества, равномерно распределённого на интервале [0,1]. Степень повреждения d_i вычисляется как значение обратной функции распределения, соответствующего типу i-го здания, аргументом которой является сгенерированное число x_i. Графически это выглядит следующим образом (см. рис. 4): случайное число x_i указывает ординату произвольно выбранной точки интегральной функции, а оператор обратной функции (входящий в набор статистических функций редактора Microsoft Excel) определяет d_i как абсциссу этой точки.

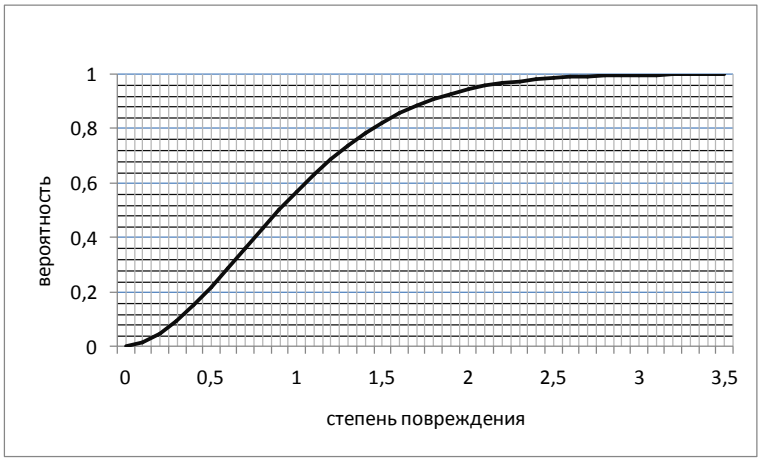


Рис. 4. Интегральная функция распределения Вейбулла, аппроксимирующего распределение повреждений зданий типа *C*7.

Погрешность вычислений при использовании МСИ пропорциональна числу $D/N^{-1/2}$, где D - некоторая постоянная и N - число испытаний. Поэтому для получения результата с точностью до второго десятичного знака, нужно задать число испытаний порядка 10000 раз. Результаты 10000 испытаний, произведённых по вышеизложенной схеме, представлены на рис. 5.

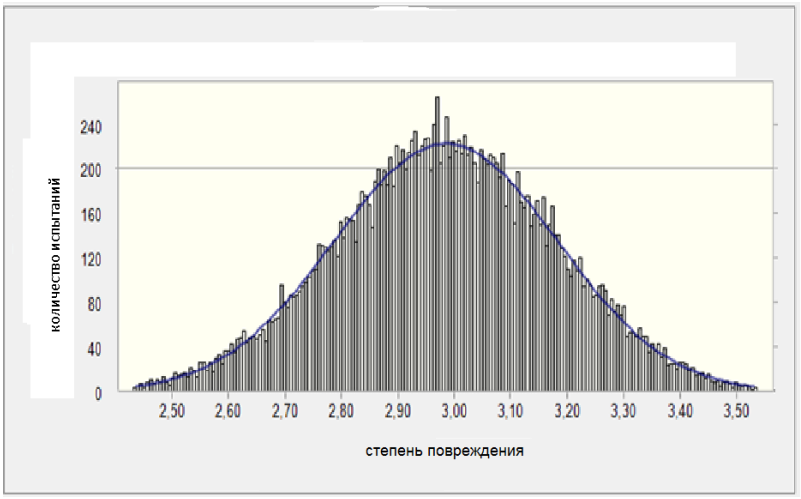


Рис. 5. Распределение частот значений среднеквартальной повреждённости зданий квартала 199. Аппроксимируется нормальной функцией распределения с математическим ожиданием 2,98 и стандартным отклонением 0,2.

В результате проведённых статистических испытаний получен теоретически ожидаемый результат, согласующийся с центральной предельной теоремой статистики: сумма большого числа как угодно распределенных независимых случайных величин распределена асимптотически нормально. Это согласие свидетельствует о надёжности и достоверности метода. Уместно отметить, что МСИ используется для подтверждения статистических гипотез, доказать которые другими способами бывает невозможно или затруднительно.

Будучи суперпозицией случайных величин d_i, среднеквартальная повреждённость $d_{кв}$ также является случайной величиной, распределённой, как показал МСИ, по нормальному закону с параметрами $\mu = 2{,}98$ и $\sigma = 0{,}2$.

Когда требуется высокая надежность оценки риска, важно оценить, в какие интервалы критический параметр попадёт с достаточно высокой вероятностью. Или какова вероятность того, что этот параметр не превзойдёт некоторого порогового значения. Кривая полученного распределения показывает, что в нашем случае $d_{кв}$ не превзойдёт статистически ожидаемого значения (2,98) с вероятностью 50%. Основываясь на параметрах данного распределения, в рассмотренном примере следует ожидать, что оцениваемая среднеквартальная повреждённость не превысит значения 3,25 с вероятностью 90%, значения 3,3 - с вероятностью 95%, а значение 3,5 является, практически, гарантированным предельным значением (см. рис.6).

Рис.6. Интегральная функция нормального распределения с математическим ожиданием 2,98 и стандартным отклонением 0,2.

МСИ является широко применяемым аппаратом для разыгрывания сложных сценариев последствий опасных природных явлений. Информационная система по оценке природных опасностей Hazus федерального агентства по чрезвычайным ситуациям (FEMA) включает в себя МСИ в качестве одного из основных инструментов. МСИ применим для прогноза состояния сооружений (мостов, башен, плотин и т.д.) на основе учёта деградации отдельных составных элементов. На основе накопленной информации о процессе износа отдельных элементов и эволюции эксплуатационных качеств конструкции разрабатывается стратегия профилактических операций – техобслуживание, упрочнение или замена ослабленных элементов конструкции [10]. В строительной индустрии метод также используется для оценки надёжности отдельных конструктивных элементов, например, домостроительных панелей, на основе учёта изменчивости свойств материалов конструкций, нагрузок, а также качества изготовления конструктивных элементов [11]. Многие горно-геологические задачи также могут решаться с применением этого метода [12].

Выводы

Рассмотрена процедура статистического анализа предполагаемой среднеквартальной повреждаемости зданий при сильном землетрясении методом статистических испытаний. Метод позволяет получить статистические характеристики прогнозируемой величины, необходимые для выработки прогностических оценок. Моделирование посредством МСИ позволяет определить вероятность и масштаб возможных повреждений и оценить уровень сейсмического риска, обеспечивая более высокую надёжность прогноза в условиях неопределенности исходной информации. Метод позволяет также построить прогноз состояния промышленных объектов и сооружений при известной статистике изменения характеристик их отдельных составных элементов.

Литература

1. Соболь И.М. Метод Монте-Карло. - М.: Наука, 1978, 312 с.
2. Алказ, В.Г., Исичко, Е.С., Гинсарь, В.Н. Сейсмический риск на территории г.Кишинева. “Будівельні конструкції”, вып. 73, 2010, с. 34-43.

3. Studiu de fezabilitate “Programul complex de prevenire a calamităţilor naturale în municipiul Chşinău. Evaluarea riscului seismic în teritoriul or. Chişinău". Архив ИГС АН РМ. Кишинев, 2009, 264с.
4. Оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. Пособие для должностных лиц / Под ред. Г.А. Соболева. РАН ОИФЗ, М.: 1997, 54 с.
5. Бержинская Л.П. Бержинский. Ю.А. Методы паспортизации зданий в сейсмических районах. Вопросы инженерной сейсмологии, 2009, т.36, №2, стр.57-69.
6. Ананьин И.В. Влияние многократности сейсмических воздействий на степень повреждений зданий. В кн.: Источники и воздействие разрушительных сейсмических колебаний. Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 31, 1990, с. 142-148.
7. Anderson T. W., Darling D. A. A test of goodness of fit // J. Amer. Stist. Assoc., 1954,V. 29, pp. 765—769.
8. Kolmogoroff A.N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione // Giornale dell` Istituto Italiano degli Attuari. 1933, Vol. 4, № 1, pp.. 83-91.
9. Купцов С.Н., Балаш В.А., Кузнецова О.С. Имитационное моделирование и его приложения. Саратов: УЦ «Новые технологии в образовании», 2008, 64с.
10. Franco Bontempi, Elsa Garavaglia, Luca Sgambi. Utilizzo di un approccio Markoviano per la manutenzione di ponti in acciaio. Brochure IABMAS Italy - Padova - ITS engineering, 2014, 18c.
11. Селяев В.П., Цыганов В.В. Оценка надежности железобетонных конструкций с полимерными покрытиями методом статистических испытаний. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Выпуск 8(27) Серия: Строительство и архитектура. 2007, с.13-17.
12. Смолич С.В., Смолич К.С. Решение горно-геологических задач методом Монте-Карло: Учеб. пособие. – Чита: ЧитГУ, 2004, 104с.

Primit la redacţie – 18 iulie 2016

CZU 550.343

Troian S.

Analiza metodelor existente de evaluare a vulnerabilitaţii seismice

Abstract

Paper presents a synthesis work of methods for vulnerability assessment of buildings under earthquake loads. Becausethe number of vulnerability assessment methods is so high, the process of assigning the suitable one for certain scenarios is complicated. Considering Republic of Moldova, it is mandatory to elaborate a certain strategy which would define different tiers of vulnerability evaluation, based on different methods, and this paper could certainly assist in that process.

Keywords: *earthquake, seismic vulnerability, seismic risk classification methods.*

Rezumat

Articolul prezintă o lucrare de sinteză a metodelor de evaluare a vulnerabilității clădirilor la acțiuni seismice.Se mentionează, că numărul mare al metodelor de evaluare a vulnerabilității, sporește complexitatea decizională în procesul alegerii unei metode adecvate pentru un anumit scenariu. În cazul Republicii Moldova, este iminentă crearea și implementarea unei strategii generale, care ar definitiva etapele reprezentative, cu analizele și cercetările de rigoare. Lucrarea prezentă ar veni ca un ghid pentru această strategie, deoarece conține descrierea celor mai răspîndite metode de evaluare a vulnerabilității, rezultatele pe care le oferă acestea și modul în care pot fi implementate în Moldova.

Cuvinte cheie: *cutremur, vulnerabilitate seismică, risc seismic metode de clasificare.*

Резюме

Статья представляет собой обзор методов для оценки уязвимости зданий при сейсмических нагрузок. Отмечается, что большое количество методов оценки уязвимости, усложняет процесс принятия решений, выбор подходящего метода для конкретного сценария. В этих условиях для Республики Молдова целесообразна разработка и реализация комплексной стратегии, которая бы предусмотрела наиболее важные этапы, виды работ и необходимые анализы и исследования. Статья может служить руководством для такой разработки, поскольку она содержит описание наиболее распространенных методов оценки уязвимости, результаты, которые они обеспечивают, и как они могут быть реализованы в Молдове.

Ключевые слова: *землетрясение, сейсмическая уязвимость, сейсмический риск, методы классификации.*

Introducere

Cutremurul de pământ este unul din fenomenele care, de mult timp, afectează imaginația omului, și care poate cauza pierderi materiale, disfuncții inginerești, haos social, dar cel mai important - pierderi de vieți omenești [1].

Cutremurele pot afecta atât țări industrializate, cât și țări în curs de dezvoltare, din lumea a treia. Este adevărat că în societățile avansate, cu un nivel înalt al cercetărilor științifice și posibilitatea fermă de a implementa rezultatele acestor cercetări, gradul de avariere și numărul de victime poate fi mai mic în comparație cu țările slab-dezvoltate, unde victimele sunt cauzate în mare parte de căderea clădirilor și structurilor construite fără

considerații inginerești și cu utilizarea tehnologiilor primitive. Dar, impactul indirect al unui cutremur poate fi mai mare în societățile mai avansate tehnologic, unde seismul poate duce la pierderi economice impunătoare, deprecierea valorii unităților imobiliare, întreruperi ale activităților industriale și sociale [2]. Astfel, cutremurul este un hazard care poate afecta pe oricine și în orice moment. Cu toate acestea, este important de realizat că viețile omenești nu sunt luate direct de seism, dar de prăbușirea clădirilor care nu rezistă la acesta [1].

Pentru Republica Moldova, cel mai evident risc seismic îl prezintă focarul din zona carpatică „Vrancea", Cercetările și calculele speciale au demonstrat că magnitudinea maximă care poate fi atinsă de seismele originare din Vrancea pe teritoriul Republicii Moldova se cuprinde undeva în intervalul $M_{W,max} = 7.9 \div 8.2$ [3,4]. Este important de menționat că forța de distrugere care poate fi produsă de un cutremur vrâncean apare ca rezultat al combinației magnitudinii și adâncimii. Datele statistice arată că cutremurul din 1977 (unul din cutremurele vrâncene reprezentative ale secolului XX) cu magnitudinea de $M_W = 7.5$ la adâncimea de $h = 109\ km$ și a produs mult mai multe pagube comparativ cu cutremurul de $M_W = 7.7, h = 150\ km$, produs în 1940 [5]. Referindu-ne la cutremurele Vrâncene reprezentative, putem menționa câteva: din 1940, 1977 și 1990 (cu magnitudinile M_R de 7.4, 7.2 și 7.0 respectiv). Acestea sunt cele mai recente evenimente seismice importante apărute în zona Vrancea. Urmările acestor evenimente sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabel 1 - Urmările cutremurelor din 1940, 1977 și 1984 [3].

	1940*	1977**	1984
Decese	78	n/a	2
Răniți	1000 (aprox)	n/a	561
Clădiri avariate	2623	8914	7015
Clădiri complet distruse	172	2765	1169

* date doar din Chișinău (din lipsa de date colectate)
** date parțiale (incomplete)
n/a - date exacte lipsesc

Evenimentele menționate mai sus au avut urmări grave și au rezultat în pierderi umane și economice foarte mari, motiv din care, în prezent, în cadrul cercetărilor contemporane, acestea sunt utilizate în calitate de referință. Considerând starea nu tocmai bună a fondului locativ din Republica Moldova, a fost necesară evaluarea impactului unui cutremur similar cu cele de referință în cazul în care acesta ar avea loc astăzi. Astfel, cercetările au arătat: dacă astăzi ar avea loc un cutremur similar cu cel din 1940, numărul clădirilor avariate ar depăși cifra de 30000 [6]. În cazul în care astăzi, în Republica Moldova, ar avea loc un cutremur cu magnitudinea de $M_W = 7.8$, doar în capitală numărul deceselor ar depăși cifra de 130, ar fi peste 7000 de răniți, iar 687 de clădiri ar fi complet distruse [3]. Pentru a reduce impactul viitoarelor cutremure, evenimentele seismice trebuie analizate și investigate pe diferite scări de timp. Pe durata deceniilor, reformele trebuie să țină de codurile de proiectare și normativele de construcție. Dacă ne referim la perioade de câțiva ani, reformele trebuie îndreptate spre informarea și pregătirea socială de un eventual hazard [7]. Dacă ar fi să ne orientăm la perioade și mai scurte, cum ar fi zile sau chiar ore, este primordial să investim în tehnologii de prezicere sau transmitere a informației în regim alert, astfel ca fiecare persoană să fie informată din timp despre un potențial cutremur, iar

structurile inginereşti strategic importante să fie pregătite de deconectări de electricitate şi întreruperi tehnologice. În toate aceste cazuri însă, indiferent de segmentul de timp analizat, este necesar un calcul de vulnerabilitate şi respectiv risc seimic, pentru că doar astfel poate fi percepută capacitatea distructivă a unui potenţial seism şi nivelul avansat de pericol la care este expusă populaţia Republicii Moldova.

Pentru a defini cantitativ riscul seismic, este important de calculat valoarea vulnerabilităţii unei clădiri, zone urbane, teritoriu sau ţări. Metode de evaluare a vulnerabilităţii sunt numeroase, iar această lucrare vine ca o sinteză a acestor metode.

1. Risc şi vulnerabilitate seismică

În linii generale, riscul poate fi definit ca convoluţia dintre hazard şi vulnerabilitatea elementelor expuse la aceste evenimente. Când vorbim despre riscul seismic, este important să integrăm în această schemă şi termenul de ”expunere” - posibilitatea ca o clădire sau o structură inginerească să fie afectată de cutremur [8,9].

$$R = H * V * E;$$

unde:

R - riscul seismic (estimarea consecinţelor unui cutremur);

H - hazardul seismic (mişcările pământului generate de seism);

V - vulnerabilitatea seismică (probabilitatea ca clădirile să fie deteriorate de seism);

E - gradul de expunere.

Există două metode de bază de evaluare a riscului seismic: a) *metoda empirică* - bazată pe evaluarea de către experţi a cutremurelor istorice, şi b) *metoda analitică* - bazată pe simulările matematice ale comportamentului structurilor inginereşti supuse acţiunii forţelor laterale [8]. Reducerea riscului seismic va ţine însă de reducerea fiecăruia din factorii enumeraţi mai sus. Deoarece hazardul *H* nu poate fi influenţat în nici un fel, iar factorul expunerii *E* nu e fezabil din punct de vedere economic de a fi influenţat, cel mai uşor manevrabil rămâne factorul de vulnerabilitate *V*. Reducerea riscului seismic are următoarele obiective[10]:

- Protejarea vieţilor umane şi evitarea dezastrelor;
- Minimizarea pierderilor economice;
- Menţinerea serviciilor vitale;
- Minimizare întreruperilor în operare şi producţie;
- Protejarea mediului înconjurător şi al patrimoniului cultural.

Pentru a asigura buna realizare a obiectivelor menţionate mai sus, este necesară dezvoltarea unui sistem de management al riscului, care nu doar ar coordona realizarea reformelor şi acţiunilor necesare, dar ar monitoriza şi interdependenţa acestor reforme. Una din schemele de bază de coordonare ciclică a riscului seismic [11] este prezentată în Figura 1, şi reprezintă cele trei etape importante pentru reducerea dezastrului seismic: evaluarea, reacţia şi educaţia socială.

Este important de accentuat faptul că pregătirea şi informarea populaţiei (menţionată mai sus ca ”educare socială”) despre riscurile unui potenţial cutremur şi despre comportamentul corect din timpul unui seism, poate să reducă considerabil gravitatea urmărilor [12].

Ca definiţie, vulnerabilitatea seismică reprezintă caracteristica calitativă de susceptibilitate a elementelor de a avea efecte adverse în cazul unor potenţiale seisme

[13,14]. Această definiție însă, este prea vagă pentru a fi folosită în cadrul estimărilor de risc seismic sau la dezvoltarea scenariilor de cutremure, şi are nevoie de un şir de specificații pentru a deveni cu adevărat calitativă. Aceste specificații ar fi [13]:

- Specificarea şi caracterizarea elementelor expuse riscului pentru care urmează să se determine vulnerabilitatea;
- Caracteristicile acțiunii seismice şi cuantificarea severității acesteia;
- Caracterizarea efectelor potențiale ale unui cutremur şi cuantificarea severității acestuia;
- Caracterizarea susceptibilității efectelor unui cutremur la diferite nivele de severitate ale acțiunii seismice.

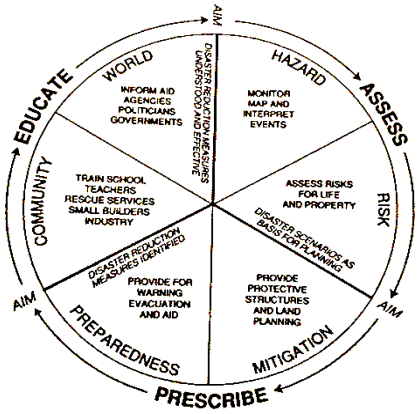


Fig. 1 Ciclul de management al riscului [12]

Ca rezultat, determinarea vulnerabilității seismice a unei structuri sau a unui amplasament urban va ajuta nu doar la prezicerea impactului economic pe care l-ar avea un potențial cutremur asupra elementelor expuse riscului, dar va aduce şi o multitudine de soluții pentru a diminua riscul: consolidarea clădirilor, editarea codurilor de proiectare, protejarea structurilor inginereşti de importanță vitală, planificarea operațiunilor de salvare [15].

Există numeroase metode de a determina vulnerabilitatea unui element, structuri sau construcții şi acestea vor fi expuse în următorul capitol. Însă, indiferent ce metodă de determinare a vulnerabilității ar fi utilizată, sunt câteva elemente componente esențiale, comune pentru toate metodele [16]. Printre acestea se numără:

- Tipologia clădirilor - Dacă să considerăm evaluarea vulnerabilității unui amplasament urban, acesta poate conține numeroase clădiri, toate diferite ca structuri, arhitectură, vârstă şi populație. Astfel, este important de determinat tipologiile principale de construcții prezente într-un spațiu, având ca bază sistemul structural de rezistență la forțe laterale.
- Scara de deteriorări - Este elementul care permite evaluarea potențialelor deteriorări în cadrul unei construcții şi trebuie să reflecte cel puțin trei nivele: clădirea poate să gazduiască activități vitale în continuare; deteriorările pot fi remediate; şi potențiala prăbuşire [16].
- Scara Intensității cutremurelor - Defineşte efectele unui cutremur, calitative sau cuantitative. Printre cele mai populare se numără: Scara Mercalli (1902), Scara modificată Mercalli (1931), Medvedev-Sponheuer-Karnik MSK (1964) ş.a.
- Matricea probabilității daunelor: Pentru prima dată a fost propusă de Whitman în 1973 şi are ca scop asistarea procedurilor de predicție a deteriorărilor clădirilor în cazul unui

potențial seism. Scara are la bază ideea că toate construcțiile similare vor avea deteriorări asemănătoare în cazul în care vor fi afectate de cutremure de intensități similare [16].

- Curba vulnerabilității - Graficul care reprezintă probabilitatea atingerii unui nivel specific de deteriorări în cazul unei intensități seismice specifice.

Toate metodele de determinare a vulnerabilității au la bază elementele reprezentate mai sus, iar determinarea metodei adecvate pentru un scenariu sau altul este un proces complex. Dar, în orice caz, metoda selectată trebuie să corespundă imperativ celor mai recente descoperiri în domeniul evaluării hazardului seismic, să reflecte toate variabilele de incertitudine, să fie uşor adaptabil în diferite locații, şi să reprezinte un echilibru dintre informația colectată în teriroriu şi cea prelucrată prin calcul.

2. Metodele de evaluare a vulnerabilității şi clasificarea lor

Construcția unui model de evaluare a riscului seimic pentru o regiune sau un amplasament urban implică nemijlocit compilarea datelor statistice din istoricul hazardului seismic local, condițiilor geologice, ecuațiilor care ar prezice mişcările geologice, gradului de expunere al fondului locativ şi infrastructurii, şi vulnerabilității acestora. Cunoscând datele descriptive ale hazardului şi vulnerabilitatea elementelor expuse riscului, gradul potențial de distrugere al elementului poate fi determinat cu uşurință, precum şi faptul dacă acest element merită consolidat sau trebuie totalmente înlocuit cu unul mai rezistent [15]. Sunt cunoscute multiple metode de evaluare a vulnerabilității, care de-a lungul anilor au fost categorizate în diverse moduri. Mai jos sunt descrise cele mai frecvente metode de evaluare a vulnerabilității şi clasificările lor.

2.1. Clasificările după Calvi şi a. [15]

Metodele empirice

Conform[15], există două tipuri principale de metode empirice de evaluare a vulnerabilității seismice. Prima este bazată pe matricile probabilității daunelor (MPD), iar a doua pe funcțiile vulnerabilității. Prima metodă, are la bază utilizarea datelor colectate în urma observațiilor evenimentelor deja petrecute, ceea ce asigură o transpunere a rezultatelor, a daunelor probabile, pentru zonele cu caracteristici similare afectate de seisme similare. Aceasta presupune un confort în sensul eficienței şi costurilor evaluării vulnerabilității. Una din primele matrici a probabilității daunelor a fost realizată de Whitman et al. în 1973 şi este prezentată în Tabelul 2.

Tab.2 - Matricea probabilității daunelor, Whitman, 1973 [15]

Nivelul deteriorării	Deteriorările structurii	Deteriorări nonstructurale	Raportul Deteriorărilor (%)	Intensitatea cutremurului				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Fără	Fără	0-0.05	10.4	-	-	-	-
1	Fără	Minore	0.05-0.3	16.4	0.5	-	-	-
2	Fără	Observabile	0.3-1.25	40.0	22.5	-	-	-
3	Neobservabile	Răspândite	1.25-3.5	20.0	30.0	2.7	-	-
4	Minor	Substanțiale	3.5-4.5	13.2	47.1	92.3	58.8	14.7
5	Substanțiale	Extensive	7.5-20	-	0.2	5.0	41.2	83.0
6	Majore	Aproape în întregime	20-65	-	-	-	-	2.3
7	Clădirea ieşită din uz		100	-	-	-	-	-
8	Colaps		100	-	-	-	-	-

O altă metodă empirică utilizată este Metoda Indexului Vulnerabilității (MIV), care a fost utilizată pe larg în Italia în ultimele decenii [15]. Această metodă, ca și precedenta, de asemenea este bazată pe evaluarea datelor colectate din teritoriu imediat după seism, și reprezintă de fapt relația dintre acțiunea seismică și răspunsul obținut prin prisma unui indicator al vulnerabilității. Metoda presupune colectarea datelor din teritoriu, considerând specificul clădirilor analizate (forma geometrică, tipul fundațiilor, tipul structurii portante, materialele utilizare). Elementele investigate au fost evaluate conform daunele observate și afișate după un coeficient de importanță. Avantajul principal al acestei metode este faptul că, prin intermediul acesteia, poate fi evaluată vulnerabilitatea pentru fiecare edificiu în parte, indiferent de tipologia imobilelor. Însă, această metodă are un dezavantaj important, și anume: se bazează pe observațiile experților, ceea ce implică o anumită subiectivitate în evaluarea deteriorărilor elementelor structurale.

O analiză inovatoare a transformat metoda empirică de evaluare a vulnerabilității prin prisma matricei probabilității daunelor într-o metodă nouă - numită metoda Curbelor Continui ale Vulnerabilității.. Aceasta avea la bază derivarea funcțiilor de vulnerabilitate pe baza observațiilor deteriorărilor seismice, utilizând scara MSK.

Ultimul tip de metode empirice utilizate, este metoda scanării rapide. Această metodă presupune investigarea rapidă a imobilului și evaluarea expres a vulnerabilității acestuia. Este, de asemenea, bazată pe analiza seismelor precedente și reprezintă o tipizare a clădirilor după indici specifici. Această metodă se bucură de popularitate, avînd avantajul timpului și costului. Metoda este perfectă pentru o analiză rapidă a imobilului, dar nu este adecvată pentru calcule specifice aprofundate. Însă, aceasta poate servi drept bază a unei prime etape de evaluare a vulnerabilității, atunci candaceasta nu a fost deloc efectuată.

Metodele analitice

Prima categorie de metode analitice reprezintă aceleași metode empirice discutate în paragraful anterior (matricea probabilității deteriorărilor și metoda indexului vulnerabilității), doar că modificate și aduse la condiția calculului matematic avansat, evitând dezavantajele metodelor empirice [15].

A doua categorie reprezentată de Calvi et. al [15] sunt metodele hibride, care prin denumire presupun combinația între doua sau mai multe metode. În cazul nostru, această combinație are loc între metodele analitice de MPD sau MIV cu observațiile și datele colectate în teritoriu de către experți. Avantajul acestei metode este că reflectă calculul matematic al deteriorărilor realizat după evaluarea condițiilor similare, în combinație cu observațiile reale colectate din teritoriu. Astfel se găseşte un mijloc de echilibru între teorie și practică și se reduce din subiectivitatea metodelor empirice utilizate anterior, bazate în mare parte pe analiza experților. Metodele hibride vin să sprijine simulările complexe, când unele scenarii sunt greu de exprimat analitic, și sunt completate cu observații și înregistrări reale ale deteriorărilor pentru calibrări [9].

Cele mai recente metode de evaluare a vulnerabilității se consideră metodele bazate pe spectrul de capacitate. De obicei, acestea sunt reprezentate de programe care execută evaluarea vulnerabilității construcțiilor pe un spațiu mai vast, supus unui focar seismic unic sau combinat, luînd în considerație toți factorii locali [15]. Cel mai popular sistem similar dezvoltat este HAZUS (Hazard US), iar modul său de lucru este realizat în câteva module:

- Estimarea hazardului local posibil (mișcările terestre, caracteristicile geologice, posibilități de lichefacție ș.a);

- Evaluarea inventarului, care conţine toate categoriile de imobil, elemente ale infrastructurii, sisteme de transport etc.;
- Calculul deteriorărilor fizice posibile ale inventarului;
- Deteriorările provocate indirect de inundaţii, foc sau alte hazarduri;
- Pierderile directe posibile: victime, persoane rămase fără adăpost, decese;
- Pierderile indirecte posibile: economice sau sociale.

Acest sistem permite simularea complexă şi detaliată a unei catastrofe seismice într-o zonă anume şi poate pregăti ferm societatea şi organele de resort pentru un eventual cutremur. Aplicarea acestui sistem este destul de complexă însă, acest lucru se datoreaza în mare parte numărului sporit de date necesare în calitate de date iniţiale.

2.2. Clasificări conform Grupul de lucru al Metodelor de evaluare a vulnerabilităţii seismice din India [9]

Experţi din India [9] au efectuat, de asemenea, categorizarea metodelor de evaluare a vulnerabilităţii seismice. În ciuda faptului că aceasta este similară din punct de vedere conceptual cu cea propusă de Calvi et al.[15], există totuşi mici diferenţe. Conform experţilor indieni, metodele de evaluare a vulnerabilităţii se clasifică în 4 grupe mari: metode empirice, metode analitice, metode hibride şi metode bazate pe opinia experţilor[9]. Astfel, observămîn ultimul caz o categorizare mai detaliată, dar conceptual asemănătoare cu cea prezentată în capitolul precedent. Vedem o delimitare între metodele analitice şi hibride, şi astfel se evidenţiază de fapt complexitatea şi avantajele metodelor hibride. De asemenea, Grupul de lucru din India separă metodele empirice de tipul nou creat de ei - al observaţiilor experţilor. Conform opiniei autorilor, metodele empirice sunt doar acelea bazate pe evaluările statistice şi istorice ale seismelor precedente, cu tentativa de a transpune rezultatele pentru un viitor cutremur. Metoda opiniei experţilor reprezintă însă un concept diferit de evaluare a vulnerabilităţii şi conţine următoarele etape[9]: selectarea obiectivului care urmează să fie investigat; clasificarea inventarului de imobil după proprietăţile inginereşti şi destinaţie; alegerea tipului de seism investigat şi caracteristicile acestuia; determinarea fazelor de distrugere a structurii; identificarea experţilor pentru a efectua investigaţiile; elaborarea chestionarului de evaluare, şi în ultimă fază, compilarea opiniei experţilor pentru obţinerea datelor statistice. O astfel de evaluare a vulnerabilităţii nu este strîns legată de metodele convenţionale, decât prin clasificare fazelor de deteriorare, restul fiind o adaptare a metodei după fiecare caz în parte. Dezavantajul acestei metode este reprezentat de subiectivitatea rezultatelor, dar până la urmă acestea pot fi echivalate prin iteraţii, astfel încât opinia diferitor experţi să nu difere considerabil.

2.3. Clasificarea după Kerstin Lang [16]

În teza sa publicată în 2012, Kerstin Lang [16] a descris o metodă simplificată de clasificare a strategiilor de evaluare a vulnerabilităţii. Scopul său a fost să definitiveze strategiile existente şi să le clasifice după criterii simple, ca să poată decide mai uşor ce tip de analiză va putea folosi în evaluarea vulnerabilităţii clădirilor din oraşul Basel, Elveţia. El a clasificat metodele în 5 categorii [16]:

- Vulnerabilitate prin observare: reprezintă de fapt aceleaşi metode empirice prezentate mai sus, bazate pe rezultatele statistice ale cutremurelor istorice. Este adecvată pentru structuri simple, din materiale neconvenţionale, a căror rezistenţă seismică nu este simplu de calculat;

- Opinia experţilor - similară cu metodele prezentate anterior. Se bazează pe estimarea experţilor a potenţialelor deteriorări. Dezavantajul, ca şi în cazurile precedente, reprezintă subiectivitatea rezultatelor;
- Modele analitice simplificate - reprezintă calcule matematice a structurilor tipizate, în care se foloseşte un număr mic de variabile. Această metodă este adecvată în cazul în care se propune spre investigaţie un lot mare de clădiri în limite de timp scurte (ar fi rezonabil de utilizat în determinarea vulnerabilităţii fondului locativ din Chişinău), Atribuirea unei note - sistemul de evaluare a vulnerabilităţii clădirilor, deseori executată de experţi, care corelează un potenţial grad de acţiune seismică cu caracteristicile structurale ale clădirii, pentru a observa şi enumera deficienţele structurale. Ca rezultat al acestei metode, clădirile primesc o notă de evaluare, care reprezintă capacitatea lor de rezistenţă la seism (sistemul cu ”buline” din Bucureşti, România);
- Proceduri de analiză detaliată - reprezintă metodele tipice de calcul avansat, anterior menţionate ca hibride, care presupun costuri mari atât financiare, cât şi de timp. Această metodă necesită proiectarea detaliată a modelului şi a condiţiilor hazardului, iar rezultatul este de o acurateţe sporită, comparabil cu celelalte metode.

Autorul a amplasat categoriile într-o schemă (Figura 3.2.) şi menţionează că selectarea metodei adecvate depinde de acurateţea necesară a rezultatului şi resursele de informaţii şi timp disponibile.

Tab.3.2.

Metodele de evaluare a vulnerabilităţii seismice, după Lang [16].

expenditure	increasing computation effort →				
application	building stock		Individual building		
methods	Observed vulnerability	Expert opinions	simple analytical models	Score assignment	detailed analysis procedures

2.4. Clasificarea după L.P. Berzhinskaia [17]

L. P. Berzhinskaia în 2006 în lucrarea [17] a examinat amănunţit problemele ce ţin de siguranţa seismică a clădirilor tipizate pe baza studiilor de caz din Regiunea Baikal, inclusiv şi metodele de evaluare a vulnerabilităţii seismice, pe care le clasifică în trei categorii:

- Evaluarea de către experţi - evaluarea se face de către persoane calificate, care atribuie un grad specific de vulnerabilitate entităţii analizate. Metoda presupune un grad sporit de subiectivitate, dar în acelaşi timp, este cea mai puţin costisitoare şi cel mai uşor de realizat.
- Metodele analitice - metode de calcul bazate pe evaluarea structurală a construcţiilor, conform normelor de proiectare, care reprezintă caracteristicile de rezistenţă a entităţii.
- Metodele diagnosticării tehnice - acestea permit identificare şi localizarea punctelor slabe în structuri, existente din faza construcţiei sau apărute de la factorul de uzură. Este o metodă care necesită nivel sporit de efort şi timp.

În incheiere sunt menționate cele mai răspîndite metode de evaluare a vulnerabilității utilizate astăzi în diferse zone ale lumii, precum și comparația lor, realizată în lucrarea [16]. Printre aceste metode se numără:

- FEMA 154 (SUA 2002) - metodă rapidă de evaluare a vulnerabilității, care de fapt împarte imobilele investigate în două grupe: clădiri capabile sau incapabile să reziste la seism. Această metodă este des utilizată ca prim pas în evaluare, iar clădirile care obțin un scor jos, sunt ulterior investigate în detaliu.
- FEMA 310 (SUA 1998) - metodă mai detaliată de investigație, bazată pe trei cicluri principale, în primul fiind analizate nuanțe generale ale imobilului, iar în celelalte două - caracteristici detaliate ale structurii. Rezultatul acestei metode este de o acuratețe înaltă, însă este greu de utilizat în cazul în care informația inițială este limitată.
- Eurocode 8 (CEN 2004) - metodă care defineşte criterii de evaluare a unei construcții existente şi foloseşte atât sarcinile dinamice (seismice) cât şi statice.
- Indicațiile din Noua Zeelandă - metoda se bazează pe o investigație vizuală rapidă în prima fază a evaluării vulnerabilității, iar ulterior reprezintă evaluări ciclice ale fiecărei părți componente, care caracterizează structura analizată.
- Metoda ”turcească” (modificată) - evaluare în trei etape. Prima reprezintă o analiză generală, care contribuie la determinarea tipurilor de clădiri ce necesită investigate. A doua etapă implică detalizări ale structurilor investigate (structura de rezistență, elementele structurii de rezistență etc.). A treia etapă presupune un calcul linear sau non-linear al elementelor care au fost identificate ca fiind cele mai vulnerabile.
- Indicațiile NRC (National Research Council of Canada) - aici procesul de evaluare a vulnerabilității începe de la identificarea celor mai importante clădiri (după destinație şi gradul de ocupare), adică se acordă un grad sporit factorului social al construcțiilor. Ulterior evaluarile se fac pe baza FEMA 154.

În capitolul precedent au fost enumerate tipurile de metode de evaluare a vulnerabilității seismice şi clasificarea acestora. De asemenea au fost descrise sistemele cele mai des folosite astăzi în lume la determinarea vulnerabilității. Dacă să se considere cazul Republicii Moldova, unde informația despre fondul locativ este limitată şi învechită, atunci selectarea metodelor adecvate ar fi un prim pas pentru realizarea unui studiu al vulnerabilității construcțiilor din Republica Moldova.

Concluzii

În Republica Moldova s-au făcut paşi considerabili în evaluarea hazardului seismic, provenit din zona Vrancea, în determinarea condițiilor de propagare a undelor seismice, de determinare a gradului de expunere al construcțiilor de pe teritoriu, dar mai mici în direcția determinării vulnerabilității fondului locativ. Vulnerabilitatea construcțiilor este un factor important în ecuația determinării riscului seismic şi este imperativ de evaluat, cu scopul de a determina riscul social şi material la care este expusă Republica Moldova. O parte considerabilă de cladiri din Republica Moldova fie au un grad sporit de uzură, fie au fost construite după normative învechite, ceea ce implică automat un risc pentru locatari. Din acest motiv este important de evaluat vulnerabilitatea seismică a lor şi de stabilit, dacă aceste clădiri mai satisfac cerințele şi scopurile pentru care au fost construite.

Există o serie de metode de evaluare a vulnerabilității seismice, iar această lucrare vine ca un volum de sinteză al acestor metode. Au fost identificate cele mai răspîndite metode de evaluare a vulnerabilității, strategii diferite de clasificare a lor şi descrieri ale

avantajelor şi dezavantajelor. Pe baza acestei lucrări pot fi identificate metodele cele mai adecvate pentru cazul Republicii Moldova, care ar putea forma primul pas în realizarea unui tablou complet al riscului seismic local.

Este evident faptul că lipsa informaţiilor caracteristice ale fondului locativ din Republica Moldova reduce probabilitatea utilizării metodelor analitice sau hibride. Utilizarea sistemelor complexe de evaluare a riscului este mai puţin posibilă, ca spre exemplu HAZUS. De aceea, primul pas ar fi dezvoltarea unor strategii de investigaţii vizuale ale fondului locativ. Acestea ar presupune investiţii minore şi ar permite formarea în scurt timp a tabloului descriptiv al situaţiei locale, cu identificarea iniţială a entităţilor ce prezintă un risc seismic sporit. De asemenea, este primordială sortarea edificiilor din Republica Moldova, pentru a le clasifica după similaritatea structurilor şi tipologiilor, astfel făcându-se loc pentru metodele empirice de evaluare a vulnerabilităţii.

Analiza structurală detalială a construcţiilor reprezentative este necesară. Aceasta ar permite utilizarea metodelor analitice avansate, ceea ce ar spori gradul de acurateţe al rezultatelor.

În concluzie, pentru a realiza o analiză a vulnerabilităţii seismice a fondului locativ din Republica Moldova este iminentă crearea şi implementarea unei strategii generale, care ar definitiva etapele reprezentative, cu analizele şi cercetările de rigoare. Această lucrare ar veni ca un ghid pentru această activitate.

Bibliografie

1. Gueguen P. ”Seismic Vulnerability of Structures”, Wiley-ISTE, February 2013, p.3.
2. L. R. Jordanovski, M. I. Todorovska, M. D. Trifunac “Total loss in a building exposed to earthquake hazard, Part I: theory and Part II: hypothetical example” (eng), European Earthquale Engineering, 1993,
3. V. G. Alcaz “Основы прогноза сейсмической опасности и сейсмического риска территории Республики Молдова” (rus), Elena-VI SRL, 2007, p. 117-120.
4. A. Zaicenco, D. Lungu, V. Alcaz etc. “Classification and evaluation of Vrancea Earthquakes records from Republic of Moldova” (eng), Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation, Kluver Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 1999, pp. 67-76.
5. Lungu D., C. Arion, A. Aldea etc. “Seismic hazard, vulnerability and risk for Vrancea events”, International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation, 2007, pp 291-306.
6. V. Alcaz, E. Isicico, V. Ghinsari etc. “Estimation of Damage-Loss from Scenario Earthquake Analogous to November 10, 1940 in Republic of Moldova” (eng), Proceedings of the Symposium Commemorating 75 Years from November 10, 1940 Vrancea Earthquake, Springer Natural Hazards, 2015, pp 399-411.
7. H. Kanamori, E. Hauksson, T. Heaton “Real-time seismology and earthquake hazard mitigation”, Nature, Vol. 390, Macmillan Publishers, December 1997, pp 461-464.
8. S. Molina, D. Lang, C. Lindholm etc. “Seismic risk and loss assessment for Bucharest, Romania”, Journal of Earthquake Engineering, 2008. [source: researchgate].
9. Seismic Vulnerability Assessment Project Group India, “Technical Document (Tech-Doc) on Seismic Vulnerability Assessment Methods for Buildings”, Seismic Vulnerability Assessment of Building Types in India, 2013, pp 7-44.

10. C. Ionescu, “Sistem de alarmare seismică în timp real pentru instalații industriale cu risc major la cutremurele vrâncene” Editura Tehnopress, Iași, 2008 .
11. G. Marmureanu, F. Wenzel, C. Ionescu “The vulnerability and resilience of large urban systems(megacities) to strong Vrancea earthquakes”, Proc. of International Conference Earthquake “Loss Estimation and Risk Reduction”, October 24-26, 2002 Bucuresti.
12. S. Akhundova “Preparedness of population to natural disaster (Earthquake). Psychological aspect”, Symposium on the Dynamics of active faulting in the Mediterranean region, October 9-11, 2000.
13. H. Sandi, A. Pomonis, S. Francis etc. “Seismic Vulnerability Assessment. Methodological elements and applications to the case of Romania”, International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation, Constructii , Vol. 3, No. 2/2008 (December 2008), pp. 5-17.
14. Y. Nakamura “A new concept for the earthquake vulnerability estimation and its application to the early warning system”, Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction, Springer Berlin Heidelberg, 2003, pp 693-699.
15. G.M. Calvi, R. Pinho, G. Magenes etc. “Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years”, ISET Journal of Earthquake Technology, Paper No. 472, Vol. 43, No. 3, September 2006, pp. 75-104.
16. K. Lang “Seismic vulnerability of existing buildings”, Institute of Structural Engineering, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2002, [source – elibrary collection].
17. L. P. Berzhinskaja “Надежность региональных типов зданий при сейсмических воздействиях (на примере Прибайкалья)”, disertație-autoreferat, Ulan-Ude, 2006.

Primit la redacţie – 20 iulie 2016

CZU 550.2

Sandu I.

Câmpul gravitaţional şi activitatea seismică: studiul de caz – zona Vrancea

Abstract

The acceleration values of gravitation field (generated by Solar System) at Earth's surface were obtained by the author in order to estimate the hierarchy of external influence at geodynamic processes. It has been found three major factors, as gravity of Earth, Sun and Moon, which could affect the geodynamic processes - earthquakes. For this reason the ROM+ regional catalogue of seismic activity in Vrancea zone, during 1800-2000+ time period, has been used. As a result, a strong interaction of Solar-Earth-Moon system's elements through gravitational field has been found by this investigation.

***Keywords**: gravitation field, at geodynamic processes, interaction earthquakes.*

Rezumat

Au fost obţinute valorile acceleraţiei câmpurilor gravitaţionale la suprafaţa Pământului, generate de elementele sistemului solar, în scopul estimării şi ierarhizării gradului de influienţă externă a proceselor geodinamice. Au fost identificaţi trei factori majori ce influienţează procesele geodinamice, prin gravitaţia proprie a Pământului, Soarelui, şi a Lunei. Specificând procesele geodinamice prin activitate seismică, au fost valorificate datele observaţionale asupra seismicităţii regionale (zona Vrancea) timp de două secole (1800-2000+). Ca rezultat, a fost stabilită o interacţiune clară a elementelor sistemului Pământ-Soare-Lună prin amplasamentul spaţial relativ al componentelor sistemului faţă de zona Vrancea.

***Cuvinte cheie**: câmp gravitaţional, procese geodinamice, interacţiune, activitate seismică.*

Резюме

Автором были получены значения ускорения поля гравитации планет солнечной системы на поверхности Земли для выявления и системной оценки их влияния на различные геопроцессы. Определены три основных фактора, которые влияют на динамику геопроцессов: поля гравитации Земли, Солнца, Луны. Также, исследовано проявление геодинамических процессов через сейсмическую активность. В работе использовались наблюдательные данные о региональной сейсмичности области Вранча в течение двух столетий (1800-2000+). В результате было установлено чёткое взаимодействие элементов системы Земля-Солнце-Луна через пространственное расположение компонент системы относительно сейсмоактивной области Вранча.

***Ключевые слова**: поле гравитации, геопроцессы, взаимодействие, сейсмическая активность.*

Introducere

Începând cu sec.XIX, când apar primele sistematizări asupra observaţiilor seismice sub forma cataloagelor regionale, au fost dezvoltate procedeie matematice în direcţia evidenţierii relaţiilor empirice dintre parametrii de sursă ale seismelor: timp, spaţiu şi energie. Acestea însă nu iau în calcul cauzele reale ale fenomenului fizic, neglijând aspectul deterministic al cercetării.

Considerând seismele - evenimente cu o repartiţie a apariţiei relativ-uniformă după axa timpului, practic se trece peste specificul individual al generării seismelor. Iar în urma acestor aproximări ***dure*** a fenomenului real devine greu de formulat concluzii veridice asupra prognozei seismice. Astfel, autorul încearcă *o abordre diferită* a problemei legate de generarea seismelor şi ia în calcul interacţiunea elementelor componente ale sistemului solar, din care face parte planeta Pământ. Aici, se verifică ipoteza: *este Pământul un sistem închis sau deschis?* Deoarece, pâina la momentul de faţă se ia ca axiomă modelul izolat al Pamântului ca sistem închis, cu detalii [1].

Studiul de faţă este unul interdesciplinar, ce face conexiune dintre procesele geodinamice şi astronomie; la acest capitol, sunt o serie de cercetări, care au încercat a stabili legătura dintre fenomenul maree şi seismele de adâncime intermediare Vrancea, ca [2, 3, 4], însă niciuna dintre acestea nu a reuşit să dea un răspuns clar asupra întrebării de bază expusă mai sus.

Datele şi metodologia aplicată în studiu

Seismele sunt rezultatul proceselor geodinamice cu o manifestare prioritară la suprafaţa Pământului; iar Pământul, fiind una dintre planetele sistemului solar, interacţionează gravitaţional cu fiecare element al acestuia. Autorul îşi propune a evalua contribuţia câmpului gravitaţional generat de planetele sistemului solar la suprafaţa pământului; aici, aplică relaţia empirică a legii atracţiei universale [5] şi constantele predefinite fiecării planete: masa (M), raza medie a orbitei de rotaţie în jurul soarelui <D> (în Tabel.1). Valoarea maximă şi minimă a acceleraţiei câmpului gravitaţional sunt g_{max} şi g_{min}, iar raportul g_{max} către g_{pam} defineşte aportul gravitaţional relativ al elementelor sistemului solar faţă de gravitaţia proprie a Pământului.

Conform Tabel.1, autorul identifică 3 elemente care influienţează considerabil procesele la suprafaţa Pământului, ca gravitaţia: Pământului (proprie), şi cea Solară, Lunară (externă).

Tab.1. Elementele definitorii ale sistemului solar şi constantele caracteristice

N	Planeta (Satelitul / Astrul)	M, $\times10^{24}$ kg	<D>, $\times10^{10}$ m	g_{min}, $\times10^{-6}$ m/s^2	g_{max}, $\times10^{-6}$ m/s^2	g_{max}/g_{pam}, $\times10^{-6}$
1	Soare	1988550	-	5926.16	5927.14	605
2	Mercur	0.330110	5.7909227	0.0005	0.0026	-
3	Venus	4.86750	10.820893	0.0049	0.1895	-
4	Pământ	5.97237	14.959826	9792720	9858310	1000000
5	Luna	0.07342	0.0384399	34.0688	34.2695	3
6	Martie	0.641710	22.794382	0.0003	0.0069	-
7	Jupiter	1898.60	77.854720	0.14700	0.32013	-
8	Saturn	568.360	143.344937	0.01513	0.02299	-
9	Uranus	86.8100	287.667908	0.0006	0.0008	-
10	Neptun	102.430	450.344366	0.0003	0.0004	-

Pentru corelarea timpului de producere a seismelor puternice ($M_w \geq 6.0$) în zona Vrancea şi amplasamentul relativ al elementelor sistemului Soare-Pămant-Lună, autorul lucrarii a luat drept referinţă catalogul regional ROMPLUS [6]; pentru anii 1800-2000+, sunt identificate 62 seisme (Tabel.2). Specificul şi individualitatea zonei Vrancea (compactă spaţial) au fost decisive la etapa de selecţie a cataloagelor care conţin date

istorice; acest fapt a asigurat un grad sporit al preciziei în localizările seismice spaţiale şi pentru perioada preinstrumentală [1].

Fazele, amplasamentul relativ ale sistemului Soare-Pământ-Lună au fost calculate în baza softului on-line [7]; autorul identifică 3 faze de bază ale Lunei: **N** (new/nouă), **F** (fool, plină), **H** (half/jumătate), care în orbita Lunei au fost divizate prin poziţii intermediare. Fazele învecinate celor de bază sunt: F* şi N*, H+ (luna în creştere) şi aceeaşi faza H- (luna în descreştere).

Tab.2. Evenimentele zonei seismice active Vrancea (M6.0+), pentru anii 1800-2000+

NR.	AAAA/LL/ZZ	OO:MM	M	F-L	FAZA LUNEI								AXA
1	1802/10/26	10:55	**7.9**	N	●								S+
2	1812/03/05	12:30	6.5	H-							H		S+
3	1821/02/10	00:30	6.6	H+			H						S-
4	1821/09/29	00:00	6.1	N*		●							S-
5	1821/11/17	13:45	6.5	H-							H		S+
6	1829/07/01	19:30	6.2	N	●								S+
7	1829/11/26	01:40	**7.3**	N	●								S-
8	1831/08/03	00:00	6.1	H-							H		S-
9	1835/04/21	20:30	6.5	H-							H		S-
10	1838/01/23	18:45	**7.5**	N	●								S-
11	1844/03/06	19:10	6.0	F					○				S-
12	1848/01/01	00:00	6.5	N*								●	S-
13	1854/10/28	12:15	6.5	H+			H						S+
14	1862/10/16	01:10	6.5	H-							H		S-
15	1868/11/13	07:45	6.8	N	●								S+
16	1868/11/27	20:30	6.5	F					○				S-
17	1880/12/25	14:30	6.8	H-							H		S+
18	1888/08/19	04:56	6.5	F					○				O/M-
19	1892/10/14	06:50	6.5	H-							H		O/M+
20	1893/05/01	17:18	6.2	F					○				O
21	1893/08/17	14:45	**7.1**	N*		●							S+
22	1893/09/10	03:40	6.5	N	●								O
23	1894/03/04	06:35	6.5	N	●								S+
24	1894/08/31	12:20	**7.1**	N	●								S+
25	1896/03/11	23:00	6.6	N	●								S-
26	1896/11/24	18:50	6.1	F*						○			S-
27	1901/03/31	07:10	**7.2**	F*				○					S+
28	1901/07/30	03:30	6.0	F					○				O
29	1903/09/13	08:20	6.3	H-							H		S+
30	1904/02/06	02:49	6.6	F*						○			S-
31	1908/10/06	21:40	**7.1**	F	●								S-
32	1912/05/25	18:10	6.7	H+			H						O/M+
33	1912/05/25	20:15	6.1	H+			H						O/M+
34	1916/01/26	07:37	6.4	F*						○			S+
35	1919/04/18	06:20	6.1	F					○				S+
36	1919/08/09	14:38	6.0	F					○				S+
37	1925/12/25	02:37	6.1	F*				○					S-
38	1928/03/30	09/38	6.0	H+			H						S+
39	1929/05/20	12:17	6.0	F					○				S+
40	1929/11/01	06:57	6.1	N	●								O
41	1932/05/27	10:42	6.0	H-							H		S+
42	1934/02/02	19:59	6.0	F*						○			S-
43	1934/03/29	20:06	6.6	F					○				S-

44	1935/07/13	00:03	6.0	F*				○					S-
45	1935/09/05	06:00	6.0	H+			H						O/M-
46	1936/05/17	17:38	6.0	N*								●	O/M-
47	1938/07/13	20:15	6.0	F					○				S-
48	1939/09/05	06:02	6.2	H-							H		O/M+
49	1940/10/22	06:37	6.5	H-							H		O/M+
50	1940/11/10	01:39	**7.7**	F*				○					S-
51	1945/03/12	20:51	6.1	N	●								S-
52	1945/09/07	15:48	6.8	N	●								O/M+
53	1945/12/09	06:08	6.5	N*		●							O
54	1946/11/03	18:47	6.0	H+			H						O/M+
55	1948/05/29	04:48	6.3	H-							H		O/M+
56	1973/08/20	15:18	6.0	H-							H		S+
57	1976/10/01	17:50	6.0	H+			H						O/M+
58	1977/03/04	19:21	**7.4**	F					○				S-
59	1986/08/30	21:28	**7.1**	N*								●	S-
60	1990/05/30	10:40	6.9	N*		●							S+
61	1990/05/30	00:17	6.4	N*		●							S-
62	2004/10/27	20:34	6.0	F					○				S-

În Tabel.2, sunt introduse notaţii adiacente (axa: S- Sun/ Soare - Pământ; M- Moon/ Lună – Pământ), care definesc câmpul gravitational extern; semnul (+) corespunde cu sensul direcţiei *din centrul* Pământului, semnul (-) corespunde sensului spre centrul Pământului. Tot aici, au fost specificate poziţiile zonei Vrancea în momentul de timp, care corespund producerii evenimentului seismic, în proiecţie pe axele respective S şi M.

Rezultate

Conform Tabel.1, procesele geodinamice de la suprafaţa Pământului sunt influienţate puternic de gravitaţia proprie a planetei Pământ, urmată de Soare şi Lună. Un factor care a fost neglijat în calcule este rotaţia proprie a Pământului - *acceleraţia centripetă*, aceasta face tranziţia doar dintre valoarea maximă şi minimă a câmpului gravitaţional, de-a lungul meridianului.

Conform Tabel.2, evenimentele puternice din ultimii 200 ani, au o distribuţie uniformă a apariţiei după tipul fazelor lunei: **H** (21), **F** (20), **N** (21), şi nu poate fi evidenţiată corelarea dintre aceşti doi parametri. Aici se poate adăuga doar, că pentru fazele **N** şi **F** sunt specifice seismele puternice în lista cărora ar fi şi M>7.0, pe când la fazele lunare **H** seismele nu depăsesc valorile M=7.0. Acest fapt sugerează ideia de a considera fazele lunii în delimitarea perioadelor de timp pentru care impactul seismic prognozat poate fi maximal sau minimal.

Conform Tabel.2, la 73% cazuri pentru evenimentele seismice puternice, amplasamentul relativ al zonei Vrancea se aliniază după axa majoră a influienţei gravitaţionale externă Soare-Pământ (S). Celelalte 27% din cazuri revin alinierii ortogonale axei S, unde 19% din setul iniţial, sunt aliniate după axa secundară (M), iar 8% sunt de altă natură decât alinierea după aceste axe.

Concluzii

1. Procesele geodinamice (seismogeneza) sunt influenţate activ de gravitaţia: Pământului (proprie), Soarelui şi Lunei (externă).

2. Alinierea zonei Vrancea după axa Pământ-Soare (S) în decursul anilor 1800-2000+ ar fi în relaţie directă cu 73% din evenimente puternice (M6.0+), fixate în ROMPLUS; iar alinierea Lunii după această axă (fazele **N** şi **F**) asigură o eliberare la seism M>7.0, ceea ce nu este specific fazelor **H** ale Lunii. În celelalte 27% cazuri, zona Vrancea are o aliniere după axa ortogonală axei S, aici, 19% sunt aliniate după axa M, iar 8% din seisme în set au o cauză de altă natură.

3. Procesele geodinamice nu pot fi investigate ca sistem închis, limitându-ne spaţial doar la volumul Pământului; aici, este necesar a considera influenţa gravitaţiei Soarelui şi a Lunei.

Bibliografie

1. Sandu, I., The influence of (Vrancea) seismic source parameters and soil conditions on seismic effect in Republic of Moldova, PhD Thesis in Phys.: geophysics and seismology, (Superv: Drumea, A., Alcaz, V.), IGS AŞM, Chişinău 2015, 170. (http://www.cnaa.md/en/thesis/21808/)
2. Zugrăvescu, D., Fătulescu, Il., Enescu, D., şi alţii, Peculiarities of the correlation between gravity tides and earthquakes, Rev. Roum. de Géophysique, 1989, 33, 3–10.
3. Enescu, D. and Moldoveanu, C., Is the gravity tide a triggering factor for Vrancea intermediate earthquakes? Rom. J. Phys., 1992, 37, 911–919.
4. Nicoleta C., The statistical tidal tomography – a new investigation method for the intermediate – depth seismic activity, Romanian Reports in Physics, 2010,Vol. 62, No. 4, P. 865–877.
5. Detlaf, A., Jaworski, B., Milkovskaya L., The course of Physics, Vol. I, Moskow, 1973, 384 p.
6. Pagina web al Catalogul ROMPLUS: http://www.infp.ro/romplus/ (actualizat in 2016)
7. Pagina web al The Planets Today: http://www.theplanetstoday.com/ (actualizat in 2016).

Primit la redacţie – 10 martie 2016

УДК 550.837.6

Секриеру В.Г.

Интерпретация магнитотеллурических данных по фазовым зависимостям

Abstract

In the paper the complex impedance of the electromagnetic wave during the propagation of electromagnetic waves in layered geoelectric structures is investigated. For three-layer geoelectric structures the dependence of the impedance phase on the depth of penetration of the electromagnetic field is analyzed. The analysis allows to use the peculiarities of impedance phase behavior for solving the inverse problem of electromagnetic sounding.

Keywords: *geoelectric structures, electromagnetic waves, impedance.*

Резюме

В данной работе исследуется комплексный импеданс электромагнитной волны при распространении электромагнитной волны в случае слоистых геоэлектрических структур. На примере трехслойных геоэлектрических структур рассматривается зависимость фазы импеданса от глубины проникновения электромагнитного поля. Проведенный анализ позволяет использовать закономерности поведения фазы импеданса для решения обратной задачи электромагнитного зондирования.

Ключевые слова: *геоэлектрические структуры, электромагнитные волны, импеданс.*

Rezumat

În lucrare este studiată dependența fazei impedanței undei electromagnetice de adîncimea de pătrundere a undei în medii geoelectrice stratificate. Faza impedantei conține informatii ample atit despre proprietatile cîmpului cît şi a mediului in care se popagă unda. Aceasta abordare permite de a analiza comportarea componentelor impedanței pentru diferite structuri geoelectrice din trei straturi. Analiza dependentelor permite de a specifica unele particularități, care la rindul lor permit utilizarea lor la rezolvarea problemei inverse a geoelectricii in cazul sondajelor magnetotellurice.

Cuvinte cheie: *structuri geoelectrice, unde electromagnetice, impendantă.*

В опубликованных работах [1-4], посвященных анализу поведения фазы φ импеданса Z при магнитотеллурических зондированиях (МТЗ), рассматривается зависимость φ от $\sqrt{T}$ или от $\frac{\lambda_1}{h_1}$, где T – период колебаний электромагнитного поля, λ_1 - длина волны в первом слое, h_1 - толщина первого слоя. Для получения значений удельного сопротивления ρ и толщины слоев геоэлектрического разреза по этой зависимости необходимо проводить интерпретацию соответствующих зависимостей с привлечением некоторого метода.

Ранее [5,6] были введены понятия эффективного удельного сопротивления, получаемые только по амплитудным данным импеданса *Z* [5]:

$$\rho = 0{,}8Z^2T\left(1+\frac{1}{2}\frac{\partial \ln Z}{\partial \ln T}\right)^2 = \rho_k\left(1+\frac{\partial \ln \rho_k}{\partial \ln T}\right)^2,$$

или с использованием и амплитуды и фазы импеданса Z :

$$\rho = 4\rho_k\left(1+\frac{2\varphi}{\pi}\right)^2, \text{ где}$$

$$\rho_k = \frac{1}{2\pi\mu_0}Z^2T$$

В этих работах показано, что более наглядное представление о геоэлектрическом разрезе $\rho(h)$ можно получить, если использовать зависимость указанных величин не от $\sqrt{T}$ а от глубины проникновения электромагнитного поля [7]:

$$h = \frac{10^3}{2\pi}ZT$$

Кроме того оказывается возможным проводить интерпретацию данных МТЗ по графикам
$\overline{\rho}(h)$ непосредственно в полевых условиях. Полученные результаты послужили поводом для проведения исследования зависимости $\varphi(h)$ на примере двух- и трехслойных моделей.

1. Двухслойная среда. На рис. 1 представлена зависимость $\varphi(h)$ для двухслойной среды ($\rho_1 = 1\Omega m,\ h_1 = 1000m$).

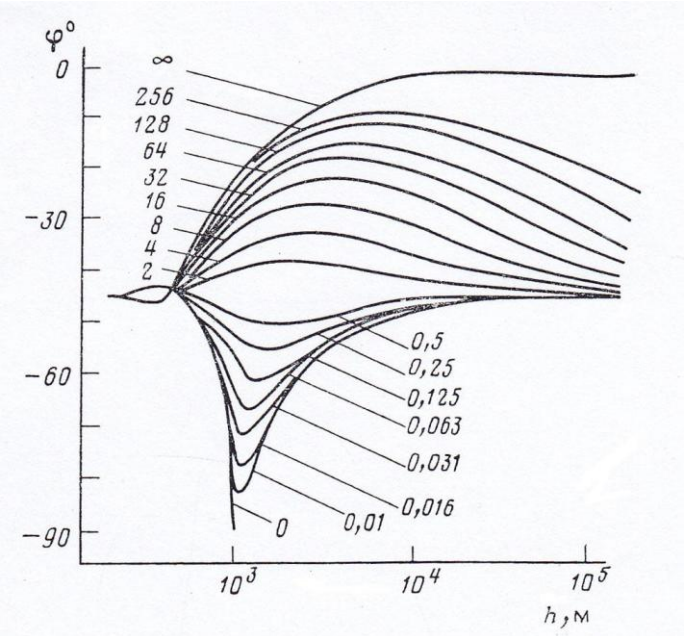


Рис. 1. Зависимость фазы импеданса от эффективной глубины проникновения электромагнитного поля для двухслойной структуры.

Цифры у кривых обозначают отношение $\frac{\rho_2}{\rho_1}$. Масштаб по оси φ - линейный по оси h - логарифмический. В отличие от зависимости $\varphi(\sqrt{T})$ или $\varphi(\frac{\lambda_1}{h_1})$ в данном случае поведение $\varphi(h)$ для случаев $\rho_2 \langle \rho_1$ и $\rho_2 < \rho_1$ асимметрично. При $\rho_2 < \rho_1$ фаза в зависимости от величины отношения $\rho_2 < \rho_1$ меняется от -45° до -90° и по мере увеличения проходит через небольшой максимум и затем через достаточно острый минимум, величина которого зависит от отношения $\rho_2 < \rho_1$. Его координата по оси h в предельном случае $\rho_2 = 0$ совпадает с толщиной в пределах от -45° до 0° и с увеличением проходит сначала через небольшой минимум, а затем через пологий максимум. При дальнейшем увеличении h в обоих случаях кривые $\varphi(h)$ выходят на асимптотическое значение соответствующее однородному полупространству с удельным сопротивлением ρ_2 причем выход на асимптоту при $\rho_2 < \rho_1$ осуществляется при существенно меньших значениях h чем для $\rho_2 > \rho_1$. После первых экстремумов все кривые пересекают линию в одной точке с координатой $\frac{h}{h_1} = 4{,}3$. Поскольку для однородного полупространства с любым удельным сопротивлением $\varphi = -45^{\circ,}$,то удельное сопротивление первого слоя по фазовым кривым не определяется. Для этого нужно использовать зависимости эффективных удельных сопротивлений $\rho(h), \rho(h), \rho_h$ (h). Для определения отношения $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ легко построить график зависимости от экстремального значения φ, однако для этой цели может быть использован рис.1.

Анализ показывает, что толщина первого слоя для сред с $\frac{\rho_2}{\rho_1}$, для которых уверенно можно определить координаты минимума $\varphi(h)$, может быть определена с погрешностью менее 5% по формуле

$$h_1 = \frac{h_{\min}}{2.14 - 0{,}0125\varphi_{\min}}$$

(здесь и в дальнейшем принимается абсолютное значение фазы φ).

Для сред с $\rho_2 > \rho_1$ удовлетворительные результаты в определении толщины первого слоя получаются по координате h точки. На рис. 1 представлена зависимость $\varphi(h)$ для двухслойной среды ($\rho_1 = 1\Omega m,\ \ h_1 = 1000m$). Цифры у кривых обозначают отношение $\frac{\rho_2}{\rho_1}$. Масштаб по оси φ - линейный по оси пересечения левой восходящей ветви данной кривой с прямой $\varphi = 45^\circ$ – $^2/_3$ (45 .

2. Трехслойная среда. Тип А ($\rho_2 > \rho_1, \rho_3 > \rho_2$ **).** На рис. 2 в качестве примера представлена зависимость $\varphi(h)$ для трехслойной среды типа А с параметрами ($\rho_1 = 1\Omega m,\ \rho_2 = 9\Omega m, \rho\ h_1 = 1000m$). Цифры у кривых обозначают отношение $\frac{h_2}{h_1}$.

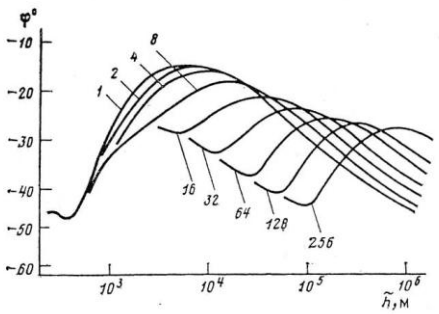


Рис. 2. Зависимость – для трехслойной среды типа *А*

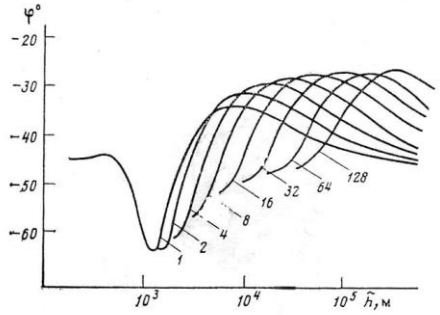


Рис. 3. Зависимость – для трехслойной среды типа *Н*

При малых значениях $\frac{h_2}{h_1}$ кривые мало отличаются от двухслойной зависимости с соотношением удельных сопротивлением $\frac{\rho_2}{\rho_1}$. Начиная с некоторого значения $\frac{h_2}{h_1}$ (в данном случае $\frac{h_2}{h_1} \geq 16$) по мере увеличения h кривые достигают максимума определяемо отношением $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ затем проходит через минимум и вновь возрастают до максимального значения определяемого отношением $\frac{\rho_3}{\rho_2}$ после чего приближаются к $\varphi = -45^\circ$. Таким образом фазовые кривые разрезов типа А при конечной проводимости третьего слоя и при достаточной мощности второго слоя имеют два максимума соответствующих второму и третьему слоям. Особенности этих кривых $\varphi(h)$ по сравнению с соответствующими кривыми $\rho_k(\sqrt{T})$ является их большая разрешающая способность. Например, для указанной выше структуры при $\frac{h_2}{h_1} \geq 16$ можно уверенно сказать, что данная кривая $\varphi(h)$ трехслойной среды резко отличается от кривой $h_1 = 1000$ м, в то время как такое различие для ρ_h $(\sqrt{\mathrm{T}})$ возможно только при $\frac{h_2}{h_1} \geq 100.$ а для $\rho(h)$ - при $\frac{h_2}{h_1} > 27$.

Определение толщины первого слоя проводится по методике, справедливой двухслойных сред. Суммарная толщина двух слоев определяется по координате точки пересечения левой (восходящей) ветви второго максимума с прямой, параллельной оси h проведенной на уровне

$$\varphi = \varphi_{\min} - \frac{2}{3}(\varphi_{\min} - \varphi_{\max}).$$

Тип Н. ($\rho_2 < \rho_1$, $\rho_3 > \rho_2$). На рис. 3 представлена зависимость $\varphi(h)$ для трехслойного геоэлектрического разреза типа Н с параметрами : $\rho_1 = 1$ Ом м, $\rho_2 = \frac{1}{9}$ Омм, $\rho_3 = 1$ Om. Цифры у кривых означают отношение $\frac{h_2}{h_1}$. Кривая $\varphi(h)$ имеет один минимум соответствующий слою пониженного сопротивления и один максимум соответствующий третьему слою, причем второй слой начинает чувствоваться даже при малых значениях толщины h_2. Величина минимума кривой $\varphi(h)$ для этих типов разрезов, всегда меньше, -45° а величина максимума больше -45°. Определение толщины первого слоя по формуле для двухслойной среды дает удовлетворительные результаты. Суммарная мощность может быть определена по координате *h* проведенной на уровне

$$\varphi = 45^\circ - \tfrac{2}{3}(45^\circ - \varphi_{\max})$$

Фазовые кривые $\varphi(h)$ геоэлектрического разреза этого типа также имеют большую разрешающую способность по сравнению с амплитудными кривыми $\rho_k(\sqrt{T})$.

Тип К ($\rho_2 > \rho_1$, $\rho_3 < \rho_2$). Пример фазовых зависимостей типа К с параметрами: $\rho_1 = 1$ Ом м, $\rho_2 = 9$ Омм, $\rho_3 = 1$ Omм. представлен на рис.4. Цифры у кривых означают отношение $\frac{h_2}{h_1}$ Кривая $\varphi(h)$ от $\varphi = -45^\circ$ при малых значениях h проходит через небольшой минимум и возрастает до некоторого максимума затем уменьшается, пересекая прямую $\varphi = -45^\circ$, достигает минимального значения и далее асимптотически приближается к $\varphi = -45^\circ$.Второй слой чувствуется также при небольшой его мощности .Определение толщины первого слоя рассмотренными ранее способами возможно только при достаточно мощном втором слое (в данном случае при $\frac{h_2}{h_1} \geq 8$) .Определение суммарной мощности двух слоев можно проводить по формуле для двухслойной среды (вместо h_1 определяется $h_1 + h_2$).Однако более точные результаты получаются по следующей методике. Соединим точки φ_{max} и $\varphi_{\min}$ прямой линией, Тогда координата $\frac{h}{h_1}$ точки

пересечения этой прямой с нисходящей ветвью кривой дает суммарное значение $1+\frac{h_2}{h_1}$.Эта методика дает хорошие результаты даже при тонком втором слое.

Тип Q ($\rho_2 < \rho_1$, $\rho_3 > \rho_2$ **).** Поведение фазовых кривых типа Q представлено на рис. 5 $\rho_1 = 1$ Ом м, $\rho_2 = \frac{1}{9}$ Омм, $\rho_3 = \frac{1}{81}$ Omм. Цифры у кривых означают отношение $\frac{h_2}{h_1}$.

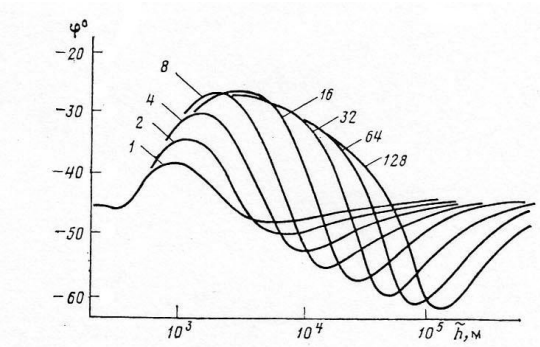


Рис. 4. Зависимость – для трехслойной среды типа K

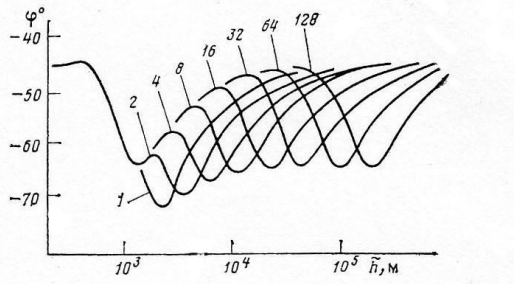


Рис. 5. Зависимость – для трехслойной среды типа Q

Эти кривые имеют два минимума определяемых отношениями $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ и $\frac{\rho_3}{\rho_2}$ соответственно.

Толщина первого слоя равно как суммарная мощность слоев достаточно хорошо определяется по формуле для двухслойной среды и по координате h точки пересечения ниспадающей ветви кривой вызванной хорошо проводящим основанием с прямой соединяющей максимальные и минимальные значения $\varphi(h)$.

На основании анализа поведения фазы импеданса в зависимости от эффективной глубины проникновения электромагнитного поля при МТЗ можно сделать следующие выводы:

1. Использование фазовых кривых целесообразно для интерпретации данных МТЗ наряду с амплитудными кривыми для получения сведений о геоэлектрическом разрезе.
2. Предложенная методика построения кривых $\varphi(h)$ и последующая интерпретация дает вполне хорошие результаты.

Литература

1. Анищенко Г.Н. Амплитудно-фазовые кривые магнитотеллурического зондирования//Региональная разведочная и промысловая геофизика. М.: ВИЭМС 1976 135 с.
2. Ваньян Л.Л. Кауфман А.А. Терехин Е.И. Расчет фазовых кривых частотного зондирования способом трансформации. //Прикладная геофизика. М. Гостоптехиздат, 1961, с. 103-114.
3. Ваньян Л.Л., Бутковская А.М. Магнитотеллурическое зондирование слоистых сред . М. Недра, 1980,226 с.
4. Loewental D. The phase constraint of the magnetotelluric sounding. ||Geophysics. 1975. v.40.
5. Молочнов Г.В. Секриеру В.Г.Связь эффективного сопротивления с модулем и фазой импеданса. Электромагнитные зондироваиия. Электромагнитные зондирования. М.1981. 116 с.

Primit la redacţie – 14 septembrie 2016

УДК 551.782:56.0:001.53

Мицул Е.З.[1], *Сыродоев Г.Н.*[1], *Игнатьев Л.И.*[1]

К 80-летию А. Н. Лунгу. Вклад в палеонтологию и палеогеографию

Abstract

The assessment of the contribution of A. Lungu in paleontology, stratigraphy and paleogeography given.

Keywords: *Hipparion fauna, correlation sediments, landscape condition.*

Rezumat

Este apreciat aportul lui Alexandru Lungu în paleontologia, stratigrafia şi paleogeografia Moldovei.

Cuvinte-cheie: *fauna cu Hipparion, corelarea sedimentelor, situaţia landşaftică.*

Резюме

Приводится оценка вклада А.Н. Лунгу в палеонтологию, стратиграфию и палеогеографию.

Ключевые слова: *гиппарионовая фауна, корреляции отложений, ландшафтная обстановка.*

Научную деятельность А. Н. Лунгу начал в 1961 г., когда совместно с Д. В. Ониловым, на правом склоне долины р. Бык (с. Калфа), открыл богатейшее захоронение, как по численности костных остатков, так и по разнообразию гиппарионовой фауны среднего сармата, продолжив работы по ее изучению, начатые в 1959 г. Н. И. Коньковой [1]. В результате раскопок, проведенных А. Н. Лунгу в 1961 – 1962 г.г., были вскрыты четыре костеносные линзы, которые, как установлено, отличаются по степени сохранности, фоссилизации, ориентации фрагментов костей, а также по их сортировке, даже в пределах одной и той же линзы. Из этого захоронения было собрано несколько тысяч фрагментов костей, по предварительному определению принадлежащих 14 родам млекопитающих, а также останки птиц, пресмыкающихся и рыб [2, 3]. В костеносных отложениях помимо фрагментов наземных позвоночных, содержатся раковины морских среднесарматских, пресноводных и наземных моллюсков, а также остатки растений.

За короткий период (1961 – 1966 гг.) А. Н. Лунгу расширил зону поисков, увеличил число местонахождений сарматской наземной фауны с 7, известных к 1957 г. [4, 5], до 16 [6, 7]. Изучив большой разнообразный палеонтологический материал, А. Н. Лунгу существенно пополнил наши знания о среднесарматской фауне позвоночных. Так, если к 1959 г., за более чем 100 лет после опубликования первого сообщения о находке в окрестностях Кишинева и Брэилы остатков наземных и морских позвоночных, среднесарматская фауна была представлена лишь

[1]Институт экологии и географии АН РМ

14 таксонами – 11 родами 3 видами [1, 3], то к 1984 г. в ее составе начитывалось уже 25 родов и 62 вида, в том числе 11 новых видов, установленных А. Н. Лунгу [6].

После отнесения А. Т. Эберзиным [5] гиппарионовой фауны, найденной в окрестностях с. Лэпушна, к низам верхнего горизонта среднего сармата, принято считать, что остатки позвоночных из всех местонахождений этого подъяруса соответствует по возрасту верхней или второй его половине [8, 9]. А. Н. Лунгу, анализируя накопленный богатейший палеонтологический материал, первым обратил внимание на имеющиеся отличия в фауне разных местонахождений в систематическом составе и в строении конечностей и зубной системы у некоторых форм, особенно у гиппарионов. Выявленные отличия послужили основой для важного заключения о том, что в среднесарматской фауне Молдовы присутствуют представители, обитавшие на этой территории в разное время и в разных ландшафтно-климатических условиях и выражающие собою различные этапы в эволюции этой фауны. Исходя из этих соображений, А. Н. Лунгу все местонахождения позвоночных приурочил к двум стратиграфическим уровням [2], имеющим точную биостратиграфическую привязку и важное, в связи с этим, значение для корреляции морских и континентальных образований Восточного Паратетиса. К нижнему уровню отнесены местонахождения у сел Калфа, Брэила, Милештий Мичь, Болбочиха, Гидигичь, Лэпушна, Бужор, Редь-Черешновэц, а также в окрестностях г. Яловень и мун. Кишинэу. Остатки наземных позвоночных из перечисленных местонахождений принадлежат, как установил А. Н. Лунгу [10], к 72 таксонам, формирующим единый фаунистический комплекс названный калфинским. Гиппарионовая фауна этого комплекса, по его заключению представляет собой разные биоценозы, однако его представители в целом были приспособлены к жизни во влажной обстановке. После пересмотра В. Х. Рошкой в 1968 г. стратиграфического положения костеносных отложений в окрестностях сел Лэпушна и Бужор возраст комплекса был уточнен и сужен до времени образования верхов (конгериевых слоев) среднего горизонта среднего сармата [8].

К верхнему стратиграфическому уровню приурочены 6 местонахождений – у сел Варница, Бужор–II, Шишкань, Сирец, Исаков и Игнэцей. Остатки костей, собранные в этих захоронениях, принадлежат, по определениям А. Н. Лунгу, к 3 родам и 16 видам наземных позвоночных. Эта фауна представляет единый комплекс, названным варницким. Хотя в нем присутствуют элементы разных биотопов, но в целом этот комплекс, в отличие от калфинского, был приспособлен к существованию в менее влажных условиях и на более открытых пространствах.

В слабокосослоистых оолитовых известняках (местонахождение у с. Шишкань) костные остатки фауны комплекса залегают совместно с раковинами морских среднесарматских, пресноводных и наземных моллюсков. Литологический характер отложений и тафономические особенности свидетельствуют, по мнению А. Н. Лунгу, о том, что косные остатки погребены в русловых и дельтовых фациях, которые завершают разрез верхнего горизонта среднего сармата. Отсюда следует, что гиппарионовая фауна варницкого комплекса на территории Молдовы существовала на рубеже среднего и позднего сармата [7, 10].

Анализируя систематический состав фауны калфинского комплекса, А. Н. Лунгу выявил две характерные особенности. Первая из них заключается в наличии в ее составе многочисленных форм среднемиоценовой анхитериевой фауны, придающих ей архаический облик. Вторая особенность состоит в присутствии в ней большой группы представителей азиатской фауны, которые отсутствуют в варницком комплексе.

В развитии среднесарматской гиппарионовой фауны А. Н. Лунгу выделил два этапа – ранний и поздний. Ранний представлен калфинским комплексом, отличающимся наличием в ее составе большого количества представителей анхитериевой и азиатской фауны, в том числе с выявленными впервые на территории Молдовы гиппарионами. Поздний этап характеризуется распространением варницкого фаунистического комплекса, в котором многие элементы анхитериевой фауны стали вымирать. Сравнивая фауну первого и второго этапов, А. Н. Лунгу пришёл к заключению, что к концу среднесарматского времени на территории Молдовы происходит обновление состава наземных позвоночных.

Сопоставляя фауну наземных позвоночных различных регионов, А. Н. Лунгу, пришёл к выводу, что темпы эволюции гиппариновой фауны среднего сармата Восточной Европы более низкие по сравнению с темпами ее развития в Южной Европе, Малой Азии и Северной Африке, но более высокие, чем в западной части Тетиса и в областях Центрального и Западного Паратетиса [11].

Основываясь на собственных результатах морфолого-систематического изучения выявленной фауны и на опубликованные данные по геологии, палеографии [12] и палеоботанике А. Н. Лунгу дал наиболее полную картину природной обстановки территории республики и ее изменений в интервале времени от начала накопления дельтовых отложений среднего горизонта среднего сармата до конца верхнего горизонта среднего сармата, завершающегося также дельтовыми образованиями.

Благодаря А.Н. Лунгу представление о палеогеографии территории Молдовы в среднем сармате выглядит следующим образом:

- Дельтовые отложения (конгериевые слои) в южной части республики начали формироваться после регрессии морского бассейна на юг. Суша представляла собой слаборасчлененную равнину с многочисленными лагунами, озерами, старицами, болотами и сетью неглубоких медленно текущих рек. Выведенная на поверхность рифовая гряда нарушала плоский облик равнины, образуя цепочку островов в приморской зоне, часть из которых имела связь с сушей. На них проникали некоторые представители наземной фауны.
- Водораздельные пространства были заняты редкими насаждениями древесно-кустарниковой растительности и высоким травянистым покровом. Приречные и прибрежно-морские участки были покрыты сочной травянистой растительностью, зарослями кустарников, пойменными лесами с хорошо развитым лиственным подлеском и травянистым покровом. Это многообразие биотопов было занято богатой фауной калфинского комплекса.
- В результате последовавшей трансгрессии моря равнина оказалась погребенной под толщей мелководных отложений верхнего горизонта среднего сармата. В конце среднесарматского времени море отступает на юг и на территории Северной и Центральной Молдовы окончательно установился континентальный режим. Суша на первых порах также представляла собой слабо расчленённую равнину, но она была заселена уже варницким комплексом. Увеличение к концу среднего сармата открытых пространств лесостепного и степного типа в связи с аридизацией климата усилило прохорез азиатской фауны на территорию Восточного Паратетиса таких ее представителей как более специализированные и эвалюционизированные виды гиппариона, хилотерии, гигантские гиены, лошадиные антилопы, страусы, вараны и др. Происходило формирование гиппарионовой фауны пикермийского типа, типичной для позднего сармата и меотиса.

Литература

1. Конькова Н. И. О новых находках позвоночных из среднесарматских отложений Молдавской ССР. Изв. Молд. Филиала АН СССР, № 12 (66) 1959, с. 73-77.
2. Лунгу А.Н. Предварительное сообщение о раскопках захоронения средне-сарматских млекопитающих у с. Калфа. Труды 3 науч. конф. молодых ученых Молдавии, естественно-технические науки, вып. 1, ”Картя Молдовеняскэ”, Кишинев, 1964, с. 103-104.
3. Лунгу А. Н. Об условиях захоронения среднесарматских млекопитающих в окрестностях села Калфа Молдавской ССР. В кн. ”Палеонтология, геология и полезные ископаемые”, вып. 2, Кишинев, 1967, с. 89-95.
4. Конькова Н. И. О распространении фауны наземных позвоночных в верхнем миоцене Молдавской ССР. Изв. Молд. Филиала АН СССР, № 10 (43) 1957, с. 37-48.
5. Эберзин А. Г. Стратиграфическое положение местонахождений древнейших гиппарионов в Молдавской ССР. Докл. АН СССР, том LXXV, №2, 1950, с. 283-286.
6. Лунгу А.Н. Гиппариновая фауна среднего сармата Молдавии (копытные млекопитающие). ”Штиинца”, Кишинев, 1984, 160 с.
7. Лунгу А. Н. Гиппариновая фауна среднего сармата Молдавии. Автореф. канд. дис. Тбилиси, 1968, 16 стр.
8. Лунгу А. Н. О среднесарматской гиппариновой фауне Молдавии. Изв. АН МССР № 10, 1966, с. 20-25.
9. Рошка В. Х. Миоцен. Геология СССР, том XLV, ”Недра”, М., 1969. С. 137-171.
10. Лунгу А.Н. Гиппариновая фауна среднего сармата Молдавии (хищные млекопитающие). Кишинев, Издательство Штиинца, 1978. 74 с.
11. Лунгу А. Н. Ранние этапы развития гиппарионовой фауны континентального обрамления паратетиса. Автореф. док. дис. Москва, 1990. 36 с.
12. Ionesi Liviu, Ionesi Bica, Roşca Vladimir, Lungu Alexandru, Ionesi Viorel. Sarmaţianul mediu si superior de pe Platforma Moldoveneasca. Ed. Acad. Române, 2005, 558 p.

Primit la redacţie – 26 august 2016