

ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

# SEYSMOLOGIYA MUAMMOLARI

**1**  
**2020**

**ТОМ 2**

---

# ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ

*Jurnal 2019-yildan yiliga ikki martadan nashr etiladi*

*Журнал издается с 2019 года по два номера в год*

TOSHKENT – 2020

TAHRIRIYAT A'ZOLARI:

V.A. RAFIKOV (Tahririyat  
kengashi raisi)  
K.N. ABDULLABEKOV (bosh muharrir)  
L.A. HAMIDOV (mas'ul kotib)  
X.A. AKBAROV  
T.U. ARTIKOV  
D.Kh. ATABAYEV  
T.L. IBRAGIMOVA  
V.A. ISMOILOV  
S.X. MAKSUDOV  
B.S. NURTAYEV  
B.Yu. QURBONOV  
Sh.S. RAJABOV

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.А. РАФИКОВ (Председатель  
редакционного совета)  
К.Н. АБДУЛЛАБЕКОВ (главный редактор)  
Л.А. ХАМИДОВ (ответственный секретарь)  
Х.А. АКБАРОВ  
Т.У. АРТИКОВ  
Д.Х. АТАБАЕВ  
Т.Л. ИБРАГИМОВА  
В.А. ИСМАИЛОВ  
С.Х. МАКСУДОВ  
Б.С. НУРТАЕВ  
Б.Ю. КУРБАНОВ  
Ш.С. РАДЖАБОВ

Manzil: Toshkent shahri, Shayxontohur tumani, Zulfiyaxonim k., 3-uy.  
Tel.: +99871 241-51-70, 241-32-22; Fax: +99871 241-74-98.  
E-mail: [seismologiya@mail.ru](mailto:seismologiya@mail.ru);

Jurnal sayti: [www.seismos.uz](http://www.seismos.uz);

Адрес: г.Ташкент, Шайхантахурский район, ул.Зулфияхоним, 3.  
Тел.: +99871 241-51-70, 241-32-22; Fax: +99871 241-74-98.  
E-mail: [seismologiya@mail.ru](mailto:seismologiya@mail.ru);

Сайт журнала: [www.seismos.uz](http://www.seismos.uz);

Jurnal O'zbekiston Respublikasi Matbuot va axborot agentligida 08.04.2019-yil  
1013-raqam bilan ro'yxatdan o'tgan.

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации  
Республики Узбекистан 08.04.2019 г.  
Регистрационный номер 1013.

## **Seysmik xavfni baholash va seysmik rayonlashtirish**

УДК 550.34

**Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л.,  
Атабеков И.У., Мирзаев М.А.**

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан,  
[ibrroma@yandex.ru](mailto:ibrroma@yandex.ru)*

### **СЕЙСМИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ МАСС ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА**

**Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Atabekov I.U., Mirzayev M.A.**

*O'zR FA Seysmologiya instituti*

#### **O'ZBEKISTON HUDUDI TOG' MASSALARINING SEYSMIK OQUVCHANLIGI**

**Annotatsiya.** O'zbekiston hududi zilzilalarining fokal mexanizmi haqidagi turli kataloglari yig'ildi. O'rganish uchun unifikatsiya qilindi va yagona katalogi tuzildi. Bu katalog asosida O'zbekistonning seysmofaol hududida tog' massalarining oquvchanlik hususiyati o'rganildi. Seysmotektonik deformatsiya tezligi tenzorining asosiy oltita komponentasi qiymatlari aniqlandi va ularning hududlar bo'yicha taqsimot xaritalari tuzildi. Tenzorning bosh komponentalari va Lode-Nadai koeffitsient qiymatlari orqali O'zbekiston hududining turli qismi yer qobig'ining kuchlanganlik turlari aniqlandi.

**Tayanch so'zlar:** zilzila o'chog'i mexanizmi, kuchlanganlik-deformatsiya holati, deformatsiya tezligi, tektonik kuchlanganlik, seysmik oqim

**Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Атабеков И.У., Мирзаев М.А.**

*Институт сейсмологии АН РУз*

#### **СЕЙСМИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ МАСС ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА**

**Аннотация.** Собраны и унифицированы разрозненные данные различных авторов по определению фокальных механизмов очагов землетрясений, и на их базе составлен единый каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана. На основе сформированного каталога проведено изучение сейсмического течения горных масс для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана. Определены значения и построены карты площадного распределения шести основных компонент тензора скорости сейсмотектонической деформации. Рассчитаны главные компоненты тензора деформаций, через значение коэффициента Лодэ-Надаи определен вид напряженного состояния земной коры различных участков территории Узбекистана.

**Ключевые слова:** механизм очага землетрясения, напряженно-деформированное состояние, скорость деформаций, тектонические напряжения, сейсмическое течение

**Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Atabekov I.U., Mirzaev M.A.**

*Institution of Seismology, Academy of Science of Uzbekistan*

#### **SEISMIC ROCKS FLUIDITY FOR UZBEKISTAN TERRITORY**

**Annotation.** Scattered data of various authors on determination of focal mechanisms of earthquake have been collected and unified then catalog of earthquake source mechanisms of Uzbekistan was compiled. This catalog has been used for studying of the seismic flow of rock masses in the entire seismic active part of Uzbekistan. The values the six main components of the strain-rate tensor of seismotectonic deformation are determined and area distribution maps are constructed. The main components of the strain tensor are calculated and the value of the crustal stress state of various areas of Uzbekistan is determined through the Lode-Nadai coefficient.

**Key words:** earthquake focal mechanism, the stress-stain state, the speed of deformation, tectonic stresses, seismic fluidity

**Введение.** Решение важнейших задач прикладной сейсмологии, связанных с прогнозированием землетрясений и оценкой сейсмической опасности сейсмоактивных территорий, в значительной степени опирается на результаты исследований напряженно-деформированного состояния структур земной коры, обусловленного происходящими геодинамическими процессами.

Важнейшим источником информации о кинематике разрывов в очагах происходящих землетрясений являются параметры фокальных механизмов очагов землетрясений, получаемые на основе анализа сейсмических волн (знаки первых вступлений, волновые формы и т.д.). Усилиями ряда ученых [1-3 и др.] к настоящему времени разработаны различные методы реконструкции

напряженно-деформированного состояния земной коры, основанные на интерпретации распределения в пространстве осей растяжения и сжатия в совокупности очагов землетрясений, попадающих в исследуемый сейсмоактивный объем. Исторически одним из первых в данном направлении является подход Ю.В. Ризниченко, которым была разработана теория сейсмического течения горных масс. Под сейсмическим течением горных масс, по Ю.В. Ризниченко [1], понимается движение, образованное за счет остаточных смещений в совокупности всех очагов землетрясений, попадающих в пространственно-временной объем  $V * T$ . Расчет компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс базируется на данных о фокальных механизмах очагов землетрясений и долговременных характеристиках сейсмического режима исследуемой территории.

К настоящему времени картирование различных компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс проведено для ряда сейсмоактивных регионов. Исследованием сейсмического течения горных масс территории Восточного Узбекистана в рамках подхода Ю.В. Ризниченко занимались С.С. Сейдузова и Л.М. Матасова [4]. На основе параметров фокальных механизмов очагов землетрясений, произошедших в период с 1960 по 1984 годы, ими рассчитаны значения шести компонент тензора скорости сеймотектонической деформации при сейсмическом течении горных масс, и построены карты площадного распределения этих параметров, а также проведено определение и картирование коэффициента Лодэ-Надаи, характеризующего вид напряженно-деформированного состояния различных участков земной коры территории Восточного Узбекистана.

Взросший к настоящему времени фактический материал по определению фокальных механизмов очагов землетрясений позволил провести исследование сейсмического течения горных масс для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана.

**Исходные данные.** Расчет долговременных параметров сейсмического режима исследуемой территории проводился на базе регионального каталога территории Узбекистана, содержащего данные об исторических и инструментальных землетрясениях. Подробные сведения о классификации землетрясений по величине и представительности событий различного энергетического уровня в региональном каталоге содержатся в [5]. При формировании базы данных механизмов очагов землетрясений, наряду с построениями, опубликованными в сборниках «Землетрясения Средней Азии и Казахстана» [6], использовались следующие источники:

- определения механизмов очагов сильных (с  $M \geq 5$ ) землетрясений, произошедших на территории Узбекистана и прилегающих к нему территориях в период с 1946 по 1985 гг., проведенные Е.М. Безродным и изложенные в его монографии [7] (41 построение);

- выборка по территории Узбекистана из каталога механизмов очагов землетрясений Центральной Азии с энергетическим классом  $K \geq 10$  ( $M \geq 3.5$ ) за период с 1970 по 2005 годы (авторы каталога Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко), предоставленная заместителем директора по научной работе Института геофизический исследований МЭ РК Н.Н. Михайловой;

- каталог механизмов очагов землетрясений с магнитудой  $M \geq 3$  по территории, ограниченной координатами  $37^{\circ} - 43^{\circ}$  с. ш.,  $63^{\circ} - 74^{\circ}$  в. д. за период с 1946 по 1992 гг., предоставленный заведующим лабораторией «Фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики» Института Физики Земли РАН Ю.Л. Ребецким. Для ряда землетрясений в данном каталоге приведено несколько решений, полученных разными авторами;

- Гарвардский каталог механизмов очагов сильных (с  $M \geq 5$ ) землетрясений СМТ (Harvard Global Centroid Moment Tensor Catalog) [8] с 1976 года по настоящее время (61 определение).

Следует сказать, что в данных, приведенных в сборниках «Землетрясения Средней Азии и Казахстана», в каталогах Е.М. Безродного, Н.Н. Михайловой, а также для большей части событий из каталога Ю.Л. Ребецкого определение параметров механизмов очагов землетрясений проводилось по знакам первых вступлений Р-волн, в то время как решения в СМТ каталоге базируются на анализе волновых форм. Не одинакова и форма представления информации в каждой из приведенных баз данных. Так в одних источниках угол погружения осей сжатия и растяжения отсчитывается от горизонта, в других – от вертикали. Таким образом, собранный нами материал по механизмам очагов землетрясений территории Узбекистана был крайне неоднородным.

Первоочередными задачами при формировании сводного каталога механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана стали гомогенизации исходных данных и выбор из

совокупности различных решений для одних и тех же сейсмических событий единственного. По рекомендации Ю.Л. Ребецкого, в качестве первого приближения оценки надежности построений механизмов, содержащихся в каталогах различных авторов, рассматривалась степень близости их построений механизма с решениями, содержащимися в каталоге СМТ.

В таблице 1 приведено сопоставление решений различных авторов для общих сейсмических событий, попадающих в каталог СМТ и каталоги Е.М. Безродного, Н.Н. Михайловой и Ю.Л. Ребецкого. Как это видно из таблицы, для большинства сейсмических событий построения, сделанные Е.М. Безродным, близки с построениями Гарвардского каталога СМТ. Значительная часть событий, общих для каталога СМТ и каталога Н.Н.Михайловой, начиная с 1987 года, имеют разные решения механизмов. Для ряда сейсмических событий в каталоге Ю.Л. Ребецкого приведены построения различных авторов: Мострюкова А. (Mos); Юнга С.Л. (Yng); Дзевонского (Dze); события, заимствованные из каталога Московского международного центра данных (Mcd); механизмы очагов, опубликованные в журнале «Землетрясения в СССР» (ССС).

По результатам анализа приведенных выше источников был сформирован единый каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана, включающий 1157 сейсмических событий. На рисунке 1 приведены гистограммы, показывающие распределение землетрясений каталога по магнитуде и глубине. Карта эпицентров землетрясений с построением механизмов их очагов, вошедших в сводный каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана, приведена на рисунке 2. Здесь же показаны построенные по всей совокупности сейсмических событий, вошедших в каталог, роза диаграммы распределения в пространстве азимутов и углов погружения осей, снимаемых в момент землетрясения напряжений сжатия и растяжения. Как это видно из рисунка 2, преобладающим типом подвижки в очагах землетрясений на территории Узбекистана, является взброс. Анализ роза диаграмм азимутов и углов погружения осей сжатия и растяжения показал, что для всей территории Узбекистана в целом преобладает близмеридиональное направление оси сжатия и близширотное оси растяжения. Азимут оси растяжения имеет несколько больший разброс, чем оси сжатия.

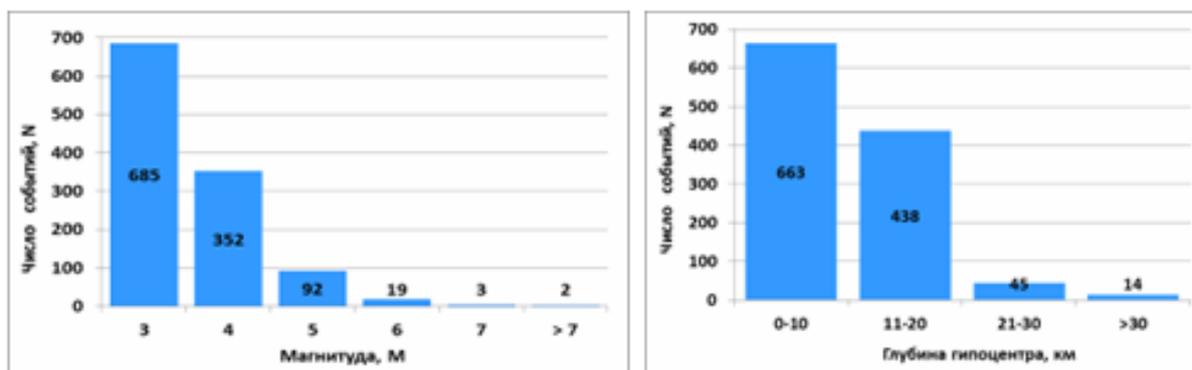


Рисунок 1 - Распределение событий из каталога механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана: а) по магнитуде; б) по глубине.

Анализ углов погружения осей сжатия и растяжения свидетельствует, что для большинства сейсмических событий первая из них близгоризонтальна, а вторая – близвертикальна. Таким образом, характер распределения в пространстве осей сжатия и растяжения в очагах слабых и умеренных землетрясений хорошо согласуется с этими же характеристиками, определенными ранее по механизмам очагов сильных землетрясений [7].

**Метод расчета компонент скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс.** Расчет шести компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций пространственного объема  $V$  при сейсмическом течении горных масс за период времени  $T$  проводится по формуле [1]:

$$v_{ik} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{j=1}^N (M_{Oik})_j,$$

- где  $(M_{Oik})_j$  компоненты тензора сейсмического момента  $j$ -го землетрясения, попавшего в рассматриваемый объем осреднения  $V$  за время  $T$ .  $i, k$  – индексы компонент тензора средней скорости деформаций ( $i, k=1,2,3$ ),  $\mu$  - модуль сдвига.

Таблица 1 - Сопоставление построенных механизмов очагов по каталогам Е.М.Безродного, Н.Н.Михайловой и Ю.Л. Ребезского с данными построенных механизмов по каталогу СМТ

№	Дата	$M_s$	H	СМТ					Безродный Е.М.					Михайлова Н.Н.					Ребезский Ю.Л.					
				AzT	PIГ	AzP	PIP	Механизм	AzT	PIГ	AzP	PIP	Механизм	AzT	PIГ	AzP	PIP	Механизм	AzT	PIГ	AzP	PIP	Source	Механизм
1	08.04.1976	6,6	15	279	77	187	1		313	57	209	9		249	61	346	4		250	60	344	2	mos	
2	17.05.1976	6,7	15	335	80	139	9		30	60	339	9		246	72	150	2		245	72	150	1	mos	
3	31.01.1977	6,0	10	350	79	199	10		292	75	177	6		263	64	144	13		348	63	147	24	ccc	
4	03.06.1977	5,3	24	95	47	3	3		80	0	0	90		-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
5	04.06.1978	5,6	10	298	70	184	8		248	67	358	9		71	76	189	7		70	75	187	6	mos	
6	06.05.1982	5,7	15	113	65	357	12		0	87	1,74	5		0	86	175	10		124	71	3	10	med	
																			175	80	355	10	ccc	
7	15.02.1984	5,2	15	258	63	163	3		264	64	8	7		289	71	176	9		111	77	347	7	yng	
																			274	66	175	3	med	
8	17.02.1984	5,2	12	60	65	176	11		59	74	168	5		205	75	304	5		24	65	124	4	yng	
																			16	75	124	4	ccc	
9	23.02.1984	5,2	15	337	64	171	26		-	-	-	-	-	-	-	-	-		105	71	354	6	yng	
																			305	71	194	6	dre	
																			305	71	194	6	med	
																			105	71	354	6	ccc	
10	19.03.1984	7,0	15	314	66	130	24		10	80	122	10		26	62	143	12		208	62	322	11	yng	
																			211	65	100	9	sip	
																			304	72	127	16	dre	
																			305	79	130	9	med	
																			211	65	100	9	med	
																			304	72	127	16	med	
																			208	62	322	11	ccc	
																			266	62	357	0	yng	
11	13.10.1985	5,5	10	240	70	337	3		-	-	-	-	-	55	62	178	0		130	72	313	16	med	
																			201	70	296	1	med	
																			266	62	357	0	ccc	
																			58	64	319	4	ccc	
12	26.03.1987	5,2	15	318	57	129	33		-	-	-	-	-	64	2	158	72		217	0	308	72	yng	
																			217	0	308	72	ccc	
13	06.11.1992	5,0	19	14	67	217	22		-	-	-	-	-	110	9	13	38		-	-	-	-	-	
14	20.02.1995	5,1	33	303	70	161	16		-	-	-	-	-	246	65	342	3		-	-	-	-	-	
15	08.10.1995	5,7	20	60	73	174	7		-	-	-	-	-	207	64	28	26		-	-	-	-	-	

Компоненты тензора скорости сеймотектонической деформации можно записать через единичный тензор  $\theta_{ik}$  сейсмического момента:

$$v_{ik} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{j=1}^N M_{0j} (\theta_{ik})_j, \quad \text{где } M_0 - \text{сейсмический момент } j\text{-го землетрясения; } \theta_{ik} -$$

единичный тензор сейсмического момента. Компоненты единичного тензора  $\theta_{ik}$  выражаются через параметры механизма очага следующим образом [1]:

$$\begin{aligned} \theta_{xx} &= \sin^2 \varphi_T \sin^2 \alpha_T - \sin^2 \varphi_p \sin^2 \alpha_p & \theta_{xy} = \theta_{yx} &= \sin^2 \varphi_T \sin \alpha_T \cos \alpha_T - \sin^2 \varphi_p \sin \alpha_p \cos \alpha_p \\ \theta_{yy} &= \sin^2 \varphi_T \cos^2 \alpha_T - \sin^2 \varphi_p \cos^2 \alpha_p & \theta_{yz} = \theta_{zy} &= \sin \varphi_T \cos \alpha_T \cos \varphi_T - \sin \varphi_p \cos \alpha_p \cos \varphi_p \\ \theta_{zz} &= \cos^2 \varphi_T - \cos^2 \varphi_p & \theta_{zx} = \theta_{xz} &= \sin \varphi_T \sin \alpha_T \cos \varphi_T - \sin \varphi_p \sin \alpha_p \cos \varphi_p \end{aligned}$$

$\varphi_T, \varphi_p$  - углы, образованные осями растяжения и сжатия с вертикалью, и  $\alpha_T, \alpha_p$  - азимутальные углы тех же осей по данным механизма очага.

Три первые формулы определяют компоненты удлинения (знак «+») или укорочения (знак «-») единичного отрезка, а три вторые – сдвиговые компоненты. В географической системе координат ось  $X$  имеет широтное направление, причем положительному значению соответствует направление на восток. Соответственно, для оси  $Y$  - ориентация по меридиану и на север, а для оси  $Z$  – перпендикулярно дневной поверхности и в зенит.

Как правило, величина сейсмического момента для каждого землетрясения устанавливается не напрямую, а через корреляционное соотношение через магнитуду сейсмического события  $M$  или же его энергетический класс  $K$ . Поскольку в региональном каталоге землетрясений в качестве основной характеристики для классификации землетрясений по величине используется энергетический класс землетрясения  $K$ , связь между сейсмическим моментом и энергетическим классом имеет вид:

$\lg M_0 = c_1 + c_2 (K - K_0)$ , - где  $K_0$  – энергетический класс землетрясения, к которому приведено определение сейсмической активности (обычно  $K_0 = 10$ ). На основе данных об абсолютном значении сейсмических моментов землетрясений  $M_0$ , попавших в площадку осреднения, и компонент их единичных тензоров  $\theta_{ik}$ , определяют компоненты среднего единичного тензора сейсмического момента по формуле:

$$\bar{\theta}_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N M_{oj}(\theta_{ik})}{\sum_{j=1}^N M_{oj}}$$

Далее, вычисляются компоненты скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс:  $v_{ik} = v \bar{\theta}_{ik}$ , где, с учетом графика повторяемости землетрясений различного энергетического уровня, в предположении одинаковой направленности подвижки в очагах землетрясений, происходящих в пределах площадки осреднения, значение  $v$  находится по формуле [1]:

$$v = \frac{\gamma A(K_0) M_0(K_0) 10^{(c_2 - \gamma)(K_{max} - K_0)}}{2 \mu V (c_2 - \gamma) (10^{0.5\gamma} - 10^{-0.5\gamma})}$$

В данном выражении и сейсмическая активность  $A(K_0)$  и сейсмический момент  $M_0(K_0)$  приведены к энергетическому классу  $K_0$  (обычно полагают  $K_0=10$ ),  $\gamma$  - угловой коэффициент графика повторяемости землетрясений,  $K_{max}$  - величина сейсмического потенциала для выбранной ячейки осреднения. Необходимые для расчета сейсмического течения горных масс значения долговременных параметров сейсмического режима ( $A_{10}, \gamma, K_{max}$ ) для каждой ячейки осреднения, а также мощность сейсмоактивного слоя для различных участков исследуемой территории, были определены нами ранее [9].

**Результаты и их обсуждение.** По методике, изложенной выше, были рассчитаны шесть компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана. Расчеты проводились в узлах сетки  $0,25^0 \times 0,25^0$  в кругах с радиусом  $R=35$  км.

На рисунках 3-8 приведены карты шести компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (в единицах  $10^{-8}$ ). На этой же карте показаны основные активные разломы земной коры исследуемой территории [10]. Обратимся к анализу представленных карт. Результаты анализа компонент скоростей сеймотектонической деформации при сейсмическом течении горных масс на территории Узбекистана показали следующее.

Компонента  $V_{xx}$  (рисунок 3) характеризует изменение относительной длины отрезка, ориентированного в широтном направлении. Положительным значениям  $V_{xx}$  отвечает удлинение, а отрицательным значениям  $V_{xx}$  его укорочение. Деформации широтного укорочения и широтного удлинения занимают на ней приблизительно равные площади. Наибольшие значения относительного укорочения широтного отрезка составляют величину  $-0.5 - -0.2 \cdot 10^{-8}$  и приурочены к району Газли на западе, а также к центральной части Северо-Ферганского разлома и одноименной флексурно-разрывной зоны, к восточной части Южно-Ферганской системы разломов, Талдысуйскому и Куршабскому разлому в Восточном Узбекистане.

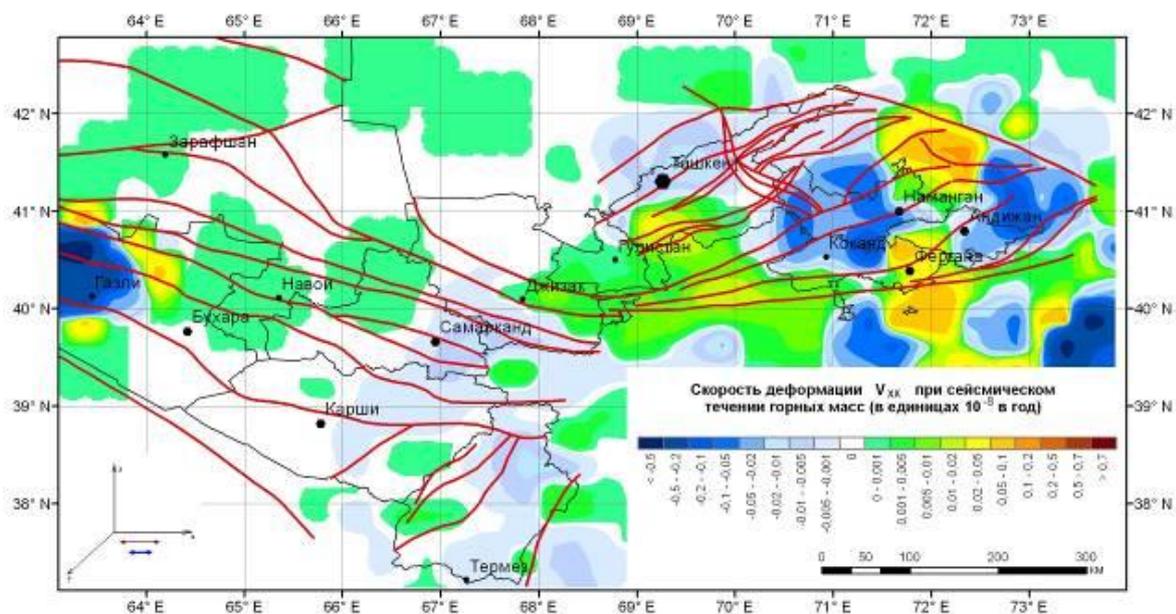


Рисунок 3 – Распределение по площади скоростей сейсмотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{xx}$ ).

Наибольшие значения относительных удлинений отрезков в широтном направлении составляют величину  $(0.05 - 0.1) \cdot 10^{-8}$  и происходят в районе сочленения Чаткало-Атойнакского разлома с Таласо-Ферганским разломом, а также в пределах Южно-Ферганского разлома и одноименной флексурно-разрывной зоны в районе города Ферганы.

Компонента  $V_{yy}$  (рисунок 4) характеризует изменение относительной длины отрезка, ориентированного в меридиональном направлении.

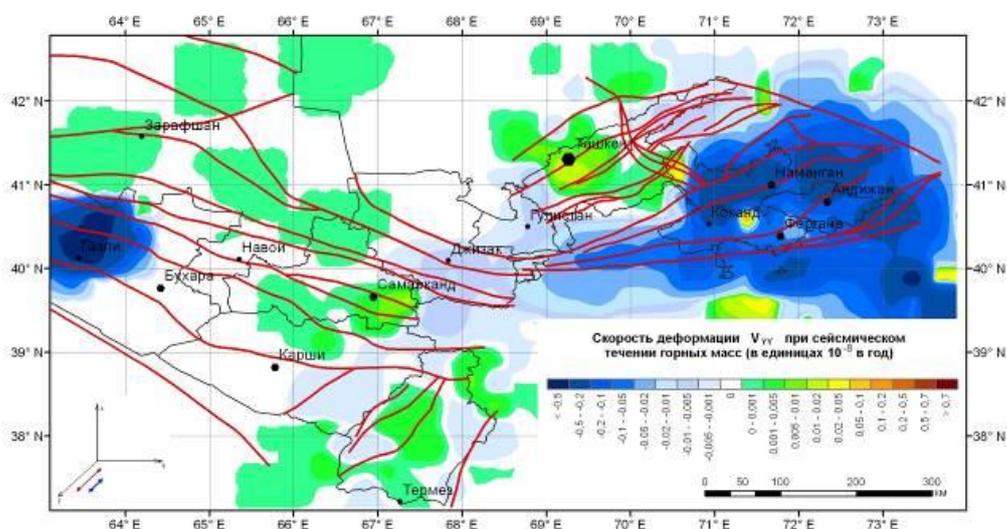


Рисунок 4 – Распределение по площади скоростей сейсмотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{yy}$ )

Как это следует из рисунка 3, значительная часть исследуемой территории характеризуется деформацией сжатия в меридиональном направлении (укорочение отрезка).

Наибольшие значения относительного укорочения составляют величину  $-0.5 - -0.2 \cdot 10^{-8}$  и приурочены к трем районам: восточной части Северо-Ферганского и Южно-Ферганского разломов и к району Газли. Наибольшие значения деформации растяжения (удлинение отрезка в меридиональном направлении) отмечаются к югу от Ташкента и составляют значение  $0.01 - 0.02 \cdot 10^{-8}$ . Несколько меньшими деформациями удлинения характеризуется территория Южного Узбекистана и район, прилегающий к Северо-Гамдынскому разлому.

Компонента  $V_{zz}$  (рисунок 5) характеризует изменение относительной длины отрезка, ориентированного в вертикальном направлении.

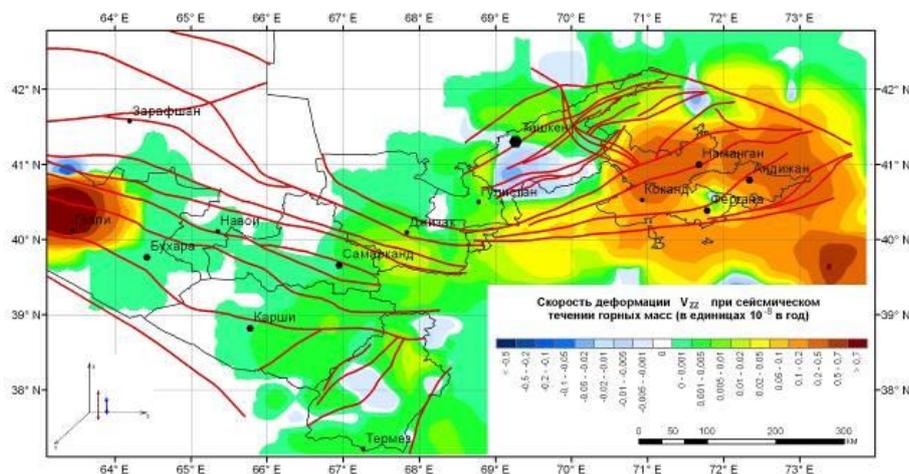


Рисунок 5 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{zz}$ ).

Эта компонента представляет значительный интерес, поскольку, с одной стороны отражает движение свободной поверхности, с другой – характеризует особенности современного рельефа и поддается качественному сопоставлению с современными движениями земной коры, на основе инструментальных данных. Как это видно из рисунка 4, практически вся исследуемая территория характеризуется деформацией относительного удлинения вертикального отрезка. Наибольшие значения скорости деформаций удлинения ( $0.2-0.5 \cdot 10^{-8}$ ) за исследуемый период отмечаются в районе Газли и в пределах горного обрамления Ферганской межгорной впадины. Скорость вертикальных деформаций уменьшается по мере продвижения от орогена к платформе и резко возрастает в районе Газли. Отрицательные значения скорости вертикальных деформаций (укорочение вертикального отрезка) наблюдается к югу от Ташкента, и составляют величину  $(-0.05 - -0.02) \cdot 10^{-8}$ .

Компоненты скорости сдвиговой деформации  $V_{xy}$ ,  $V_{xz}$ ,  $V_{yz}$  (рисунки 6-8) отражают изменение угла между лучами с общим началом, проведенными в соответствующих плоскостях. Причем положительным значениям отвечает уменьшение угла, а отрицательным – его увеличение. Как это видно из рисунка 5, наибольшие положительные значения по компоненте  $V_{xy}$  наблюдаются в районе поселка Газли на западе, а также в пределах Северо-Ферганского разлома севернее Коканда и в восточной части Южно-Ферганского разлома на востоке. Наибольшие отрицательные значения компоненты  $V_{xy}$  наблюдаются к востоку от очаговой зоны трех сильнейших Газлийских землетрясений, в очаговой области сильнейшего Чаткальского землетрясения 1946 года с магнитудой  $M=7.5$  и в очаговой области Андижанского землетрясения 1902 года с магнитудой  $M=6.4$ . Компонента  $V_{xz}$  практически для всей территории Узбекистана характеризуется положительными значениями. Наибольшие значения по данной компоненте отмечаются для района Газли и северного обрамления Ферганской межгорной впадины и составляют величину  $0.1-0.2 \cdot 10^{-8}$ . Небольшая область отрицательных значений по компоненте  $V_{xz}$  расположена на фрагменте Южно-Ферганского разлома в районе очаговой области Исфара-Баткентского и Чимионского землетрясений. По компоненте  $V_{yz}$  не обнаруживается четкой

приуроченности экстремальных значений к разломным зонам и очагам сильнейших землетрясений исторического периода.

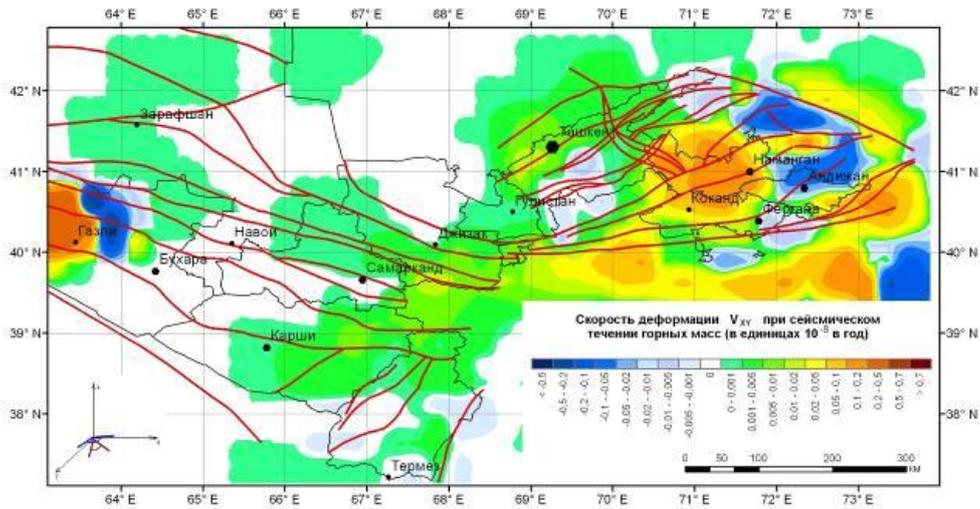


Рисунок 6 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{xy}$ )

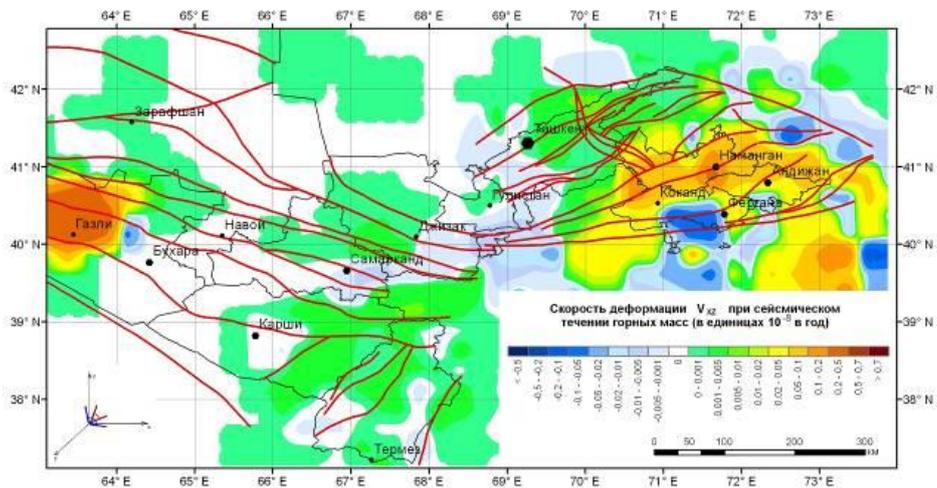


Рисунок 7 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{xz}$ )

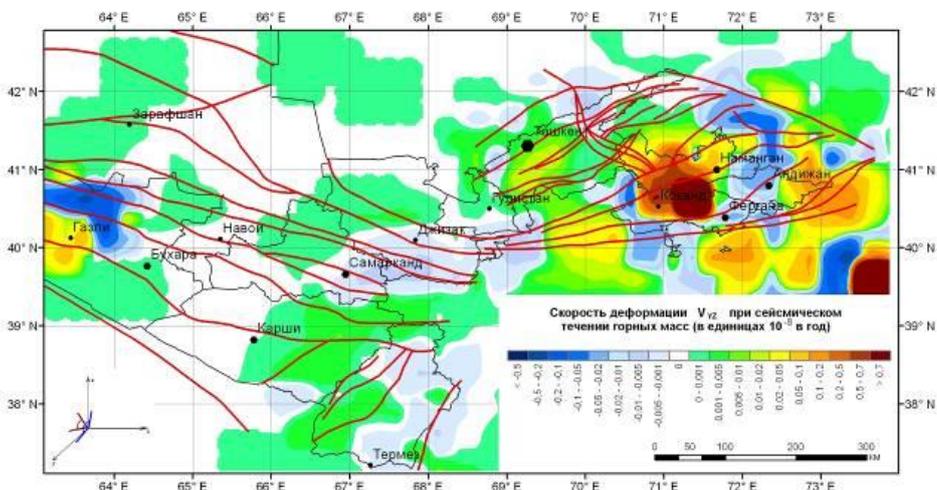


Рисунок 8 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{yz}$ )

Более того, зоны повышенных и пониженных значений по данной компоненте зачастую располагаются между зонами активных разломов.

Принято считать, что в глобальном масштабе региональное поле тектонических напряжений Среднего Тянь-Шаня, куда относится исследуемая территория, определяется надвиганием на Евразийскую плиту Аравийской и Индостанской плит [11].

Причем, действие последней из них является преобладающим. В случае близмеридиональной направленности внешних сил, действующих на юге со стороны Индостана в горизонтальном направлении, при наличии жесткого упора на севере (каковым является Казахский щит), естественно ожидать, что находящийся в этом поле напряжений единый однородный объем геофизической среды будет испытывать деформации близмеридионального укорочения и близширотного и вертикального удлинения. Реальная геологическая среда существенно неоднородна, наделена блоковым строением, наличием активных разрывных нарушений земной коры. Поэтому распределение деформаций при действии внешних сил может существенно отличаться от упрощенной схемы, описанной выше. Вместе с тем, основные тенденции в поведении компонент тензора скорости сеймотектонической деформации в широтном, меридиональном и вертикальном направлениях (компоненты  $V_{xx}$ ,  $V_{yy}$ ,  $V_{zz}$ ), в целом, согласуются с приведенной выше упрощенной схемой деформирования однородного геоматериала. Шесть основных компонент тензора скорости сеймотектонической деформации  $V_{xx}$ ,  $V_{yy}$ ,  $V_{zz}$ ,  $V_{xy}$ ,  $V_{xz}$ ,  $V_{yz}$  дают представление о характеристиках течения горных масс в географической системе координат. Для оценки вида напряженного состояния земной коры в каждой ячейке осреднения используют коэффициент Лодэ-Надаи. Коэффициент Лодэ-Надаи выражается через главные компоненты тензора деформаций  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  формулой:

$$\mu_\varepsilon = \frac{2(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} - 1$$

Всевозможные значения  $\mu_\varepsilon$  заключены в пределах  $-1 \leq \mu_\varepsilon \leq 1$ . Величина  $\mu_\varepsilon = 1$  характеризует одноосное сжатие,  $\mu_\varepsilon = -1$  – одноосное растяжение,  $\mu_\varepsilon = 0$  – простой сдвиг.

Для получения главных компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций для каждой ячейки осреднения решалось характеристическое уравнение, сводящееся к нахождению корней кубического многочлена. По значениям главных компонент тензора скорости деформаций  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  проводился расчет коэффициента Лодэ-Надаи.

Площадное распределение коэффициента Лодэ-Надаи в сейсмоактивной части территории Узбекистана показано рисунке 9.

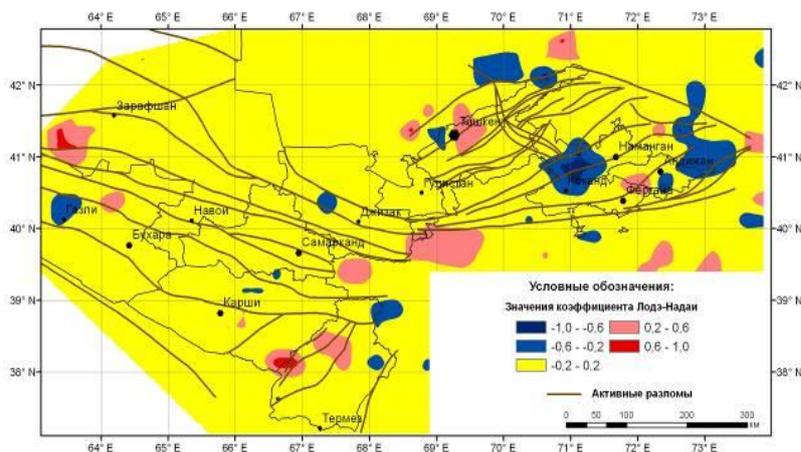


Рисунок 9 – Распределение по площади различных значений коэффициента Лодэ-Надаи.

Как видно из рисунка, подавляющая часть территории характеризуется напряженным состоянием, близким к простому сдвигу ( $-0,2 \leq \mu_\varepsilon \leq 0,2$ ). Напряженное состояние, близкое к одноосному растяжению ( $\mu_\varepsilon \leq -0,6$ ), отмечается в очаговой области Газлийских и Каратагских

землетрясений, в центральной части системы Северо-Ферганских разломов, а также в области Талдысуйских и Куршабских разломов.

Напряженное состояние, близкое к одноосному сжатию ( $\mu_e \geq 0,6$ ), наблюдается в западной части Северо-Тамдынского разлома, в южной части системы Байсун-Кугитанских и Сурхантау-Шерабадских разломов, а также в пределах Каржантауской структуры вблизи города Ташкента.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

- собраны и унифицированы разрозненные данные различных авторов по определениям механизмов очагов землетрясений. Проведено сопоставление между собой решений механизмов различных авторов для одних и тех же сейсмических событий, и составлен единый каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана. Преобладающим типом подвижки в очагах землетрясений на территории Узбекистана является взброс;

- установлено, что характер распределения в пространстве осей сжатия и растяжения в очагах слабых и умеренных землетрясений хорошо согласуется с этими же параметрами, определенными ранее по сильным землетрясениям (Безродный Е.М. и др.). Для всей территории Узбекистана в целом ось сжатия ориентирована в субмеридиональном направлении и близгоризонтальна. Азимут оси растяжения имеет несколько больший разброс, но преобладающей ориентацией является близширотная с близвертикальным погружением;

- для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана проведено определение шести основных компонент тензора скорости сейсмодектонической деформации. Показано, что качественная картина распределения скоростей деформаций в широтном направлении (компонента  $V_{xx}$ ), в меридиональном направлении (компонента  $V_{yy}$ ) и в вертикальном направлении (компонента  $V_{zz}$ ) согласуется с представлениями о формировании регионального поля напряжений, обусловленного надвиганием Индостанской и Аравийской плит на Евразийскую плиту;

- проведен расчет главных компонент тензора скорости сейсмодектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс, и через значение коэффициента Лодэ-Надаи определен вид напряженного состояния земной коры различных областей территории Узбекистана. Показано, что подавляющая часть исследуемой территории характеризуется напряженным состоянием, близким к простому сдвигу ( $-0,2 \leq \mu_e \leq 0,2$ ).

### Литература

1. Ризниченко Ю.В. *Избранные труды. Проблемы сейсмологии.* — М.: Изд. АН СССР. — 1985. — 408 с.
2. Юнга С.Л. *Методы и результаты изучения сейсмодектонических деформаций.* — М.: Наука. — 1990. — 190 с.
3. Ребецкий Ю.Л. *Тектонические напряжения и прочность природных массивов.* — М.: Академкнига. — 2007. — 406 с.
4. Сейдузова С.С., Матасова Л.М. *Отчет по теме: Изучить корреляционные связи параметров сейсмического течения с особенностями энергетического режима земной коры применительно к количественным оценкам сейсмической опасности за 1984-1985 гг. (заключительный).* — Ташкент: Труды Института геологии и геофизики АН УзССР. — 1985. — 187 с.
5. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Кучкаров К.И., Мирзаев М.А. *Методология построения нового комплекса карт общего сейсмического районирования территории Узбекистана* ОСР-2017 // *Геориск.* — Москва, 2018. — №2. — С. 6-24.
6. *Землетрясения Средней Азии и Казахстана. Дониш. Душанбе. 1979-1988 гг.*
7. Безродный Е.М., Туйчиев Х.А. *Механизмы очагов сильных землетрясений Узбекистана.* — Ташкент: Фан. — 1987. — 144 с.
8. Eksrom G., Nettles M. *Global CMT web page; <http://www.globalcmt.org/> (accessed April 17, 2014).*
9. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. *Сейсмическая опасность территории Узбекистана.* — Ташкент: Фан. — 2012. — 254 с.
10. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. *Сейсмодектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане.* — Ташкент: Гидроингео. — 2002. — С. 59-74.
11. Уломов В.И. *Динамика земной коры и прогноз землетрясений.* — Ташкент: Фан. — 1974. — 215 с.

## **ZILZILALARNI PROGNOZLASH**

УДК 550.34

**Атабеков И.У.<sup>1</sup>, Муминов М.Ю.<sup>1</sup>, Кучкаров К.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт сейсмологии АН РУз, Республика Узбекистан, [atabekovi@mail.ru](mailto:atabekovi@mail.ru);

<sup>2</sup>Республиканский Центр сейсмопрогностического мониторинга при МЧС РУз.

### **ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ПАМИР-ГИНДУКУША**

**Atabekov I.U.<sup>1</sup>, Muminov M.Yu.<sup>1</sup>, Kuchkarov Q.I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> O'zR FA Seismologiya instituti;

<sup>2</sup> O'zR FFV Respublika seysmoprognostik monitoring markazi.

#### **POMIR-HINDUKUSH HAVZASI KUCHLANISHLARINING RAQAMLI MODEL**

**Аннотация.** Pomir-Hindukush havzasida sodir bo'lgan yer qimirlashlar o'chog'lari tomografik tahlili asosida ushbu zonadagi mantiyaga suqulib kirayo'tgan mavgud indentorning taxminiy chegaralari aniqlandi. Yuz yil davomida hosil bo'lgan o'choqlar dinamikasi 100-250 kilometr chuqurlikdagi zonada yer qimirlashlar intensivligining keskin kamayishi va 50-100, 250-280 kilometr chuqurlikdagi zonada esa biroz ko'tarilishini ko'rsatdi. Ushbu zonadagi kuchlanganliklarni mavjud etuvchi kuchlarni o'rganish maqsadida, elastiklik nazariyasi va gidromexanika asosida subduksiya va kolliziya modellari yaratildi. Raqamli yechimlar esa chegaraviy integral tenglamalar asosida hisoblandi. Litosferik plitalar to'qnashuvini keltirib chiqaruvchi kuch sifatida Hindison plitasining mavjud tezligi qabul qilindi. Yevrosiyo plitasi esa nisbatan tinch, deb sanaldi. Litosfera va mantiya chegaralarida zo'riqishlar tegnligidan tashqari kontinental (okeanik) plitalar harakati mantiyaning 100 yil mobaynidagi harakat tezligi bilan ulandi. Subduksiya ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanishlar hozirgi zamon kolliziya ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanishlar bilan o'zaro solishtirildi. Plitalarni suruvchi kuchlar va plitalar kontraktsiyasida hosil bo'lgan og'ir eklogitlar ta'sirida mavjud bo'lgan kuchlar yaratgan konvektiv oqim o'rganildi.

**Калит so'zlar:** Pomir-Hindukush, yer qimirlashlar o'chog'lari, kuchlanganlik, elastiklik nazariyasi, gidromexanika, litosfera va mantiya.

**Атабеков И.У.<sup>1</sup>, Муминов М.Ю.<sup>1</sup>, Кучкаров К.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт сейсмологии АН РУз;

<sup>2</sup>Республиканский Центр сейсмопрогностического мониторинга при МЧС РУз.

#### **ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ПАМИР-ГИНДУКУША**

**Аннотация.** С помощью сейсмической томографии анализированы очаги землетрясений в зоне Памир-Гиндукуша, которые позволили построить предположительный контур индентора, внедряющегося в мантию. Динамика происшедших землетрясений за сто с лишним лет позволила сделать вывод, что в течении этого времени имеется тенденция уменьшения очагов землетрясения в глубинах 100-250 километров и увеличения их интенсивности в глубинах 50-100 и 250-280 километров. Для изучения движущихся сил в этой зоне построена модель субдукции и коллизии на основе уравнений теории упругости и ползущего движения вязкой несжимаемой жидкости. Численная реализация модели проводится методом граничных интегральных уравнений. В качестве сдвигающих сил плит, принята реальная скорость Индийской плиты. Евразийская плита считается относительно неподвижной. На контакте литосферы и мантии задаются, кроме непрерывности нормальных и касательных напряжений, условия сцепления перемещения континентальной (океанической) коры и скорости перемещений мантии умноженный на рассматриваемый период времени 100 лет. Модель напряжений в зоне субдукции сравнивается с напряжением имеющее место в данное время. Построено конвективное течение мантии, обусловленное сдвигающими силами и отрицательной плавучестью индентора, возникшей благодаря частичной эклогитизации пород в зоне контракции двух плит.

**Ключевые слова:** Памир-Гиндукуш, очаги землетрясений, напряжения, теория упругости, гидромеханика, литосфера и мантия.

**Atabekov I.U.<sup>1</sup>, Muminov M.Yu.<sup>1</sup>, Kuchkarov Q.I.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institution of Seismology of Academy of Science of Uzbekistan

<sup>2</sup>Republican Centre of seismoforecastings of the monitoring at MES RUz.

#### **NUMERICAL MODEL OF STRESSES IN PAMIR-GINDUKUSH ZONE**

**Annotation.** Using seismic tomography, the source of earthquakes in the Pamir-Hindu Kush zone were analyzed, which made it possible to construct the hypothetical contour of the indenter introducing into the mantle. The dynamics of the earthquakes over a hundred years allowed us to conclude that during this time there is a

tendency to decrease the centers of the earthquake in the depths of 100-250 kilometers and increase their intensity in the depths of 50-100 and 250-280 kilometers. To study the moving forces in this zone, a subduction and collision model based on the equations of the theory of elasticity and creeping motion of a viscous incompressible fluid is constructed. The numerical implementation of the model is carried out by the method of Boundary Element Methods. As the shear forces of the plates, the real speed of the Indian plate is adopted. The Eurasian plate is considered relatively motionless. At the contact of the lithosphere and mantle, in addition to the continuity of normal and shear stresses, the conditions for the cohesion of the displacement of the continental (oceanic) crust and the velocity of the mantle multiplied by the considered time period of 100 years are set. The stress model in the subduction zone is compared with the current stress. Convective flow in the mantle due to shear forces and negative buoyancy of the indenter, which arose due to partial eclogitization of rocks in the contraction zone of two plates is constructed.

**Key words:** Pamir-Ginukush, centers of earthquakes, stresses, theory of elasticity, hydromechanics, lithosphere and mantle.

**Введение.** В работах [1,2] сделана попытка анализировать взаимосвязь активации слабых землетрясений Центральной Азии от произошедших сильных землетрясений, имеющие очаги в этом регионе. В частности, в работе [2] выявлено, что на активацию слабых землетрясений в Узбекистане, сильнее всего среди всех землетрясений в Центральной Азии, оказывают воздействие землетрясений происходящих в зоне Памир-Гиндукуша. Поскольку, сейсмическая активность – это одно из проявлений тектонического процесса, совершенно ясно, что для прогноза землетрясений необходимо как можно больше выявить причинно-следственные связи преобразований в земной коре и мантии Земли и понять движущие силы глубинных процессов. Решение этого вопроса касательно рассматриваемой зоны волновало многих исследователей, как фиксистов, так и мобилистов. При этом фиксисты в различной форме старались объяснить глубокофокусные землетрясения этой зоны с горообразованием Памир-Гиндукуша, и предполагали, что механизм этого процесса лежит в подъеме легких астенолитов из мантии. Обширный обзор, проведенный по глубинному исследованию земной коры и мантии Памир-Гиндукуша геофизическим профилированием и сейсмическим зондированием, приведен в монографии [3]. Однако, интерпретация результатов численных моделей на основе вязкой жидкости, соответствующих данной постановке, встречает довольно много несостыковок [4]. Например, полученные размеры дневной поверхности, подверженные горообразованию, оказались намного меньше, чем размеры астенолита, обнаруженные под земной корой Памир-Гиндукуша. Напряженное состояние земной коры оказалось растягивающим. Если предположить, что гипоцентры землетрясений соответствуют зонам максимальных касательных напряжений, то они должны были геометрически подобными ограничивающему контуру астенолита. Сравнение размеров гранитного и базальтового слоев вследствие действия астенолита наталкивает на мысль, что такая постановка задачи, скорее всего, подходит начальному этапу образования рифта. Еще многие необъяснимые результаты численного решения задачи заставили сделать заключение, что процесс горообразования в Памир-Гиндукушской зоне нельзя рассматривать как результат исключительно возбужденной астеносферы. Идея тектоники литосферных плит обогатила представления о возникновении землетрясений и, в частности, в Памир-Гиндукушской зоне. Несмотря на имеющиеся многие вопросы о главенствующей роли этой идеи для объяснения всех процессов земной коры и мантии, стало возможным рассматривать сейсмическую деятельность Земли как единый детерминированный процесс [5,6]. Согласно тектонике плит эндогенная активность Земли определяется глубинной геодинамикой и связанными с ней процессами плейт и плюм тектоники, которые начали действовать при формировании всех оболочек и ядра планеты. Считается, что именно с этого времени в мантии и астеносфере Земли возникла конвекция как главная движущая сила тектоники плит. Важнейшим ее следствием, с одной стороны, является спрединг – рождение океанической коры, с другой – субдукция океанических плит, ее частичное плавление и образование новой континентальной коры. Установлено, что конвекция возможна только при наличии внутреннего источника тепла, генерация которого связана с термохимическими процессами на границе ядра с нижней мантией. Современные геодинамические модели предполагают вариант многослойной конвекции в мантии, в результате чего осуществляется перенос тепла. Зоны субдукции соответствуют погружающейся в мантию океанической литосферы (слэба). На определенной глубине вещество слэба обезвоживается и плавится с внедрением расплава и летучих компонентов в надсубдукционный мантийный клин,

следствием которого являются островодужный и внутриплитный вулканизм. Тепловая конвекция в жидком внешнем ядре обладает эффектом динамо машины, генерирующей геомагнитное поле. Конвекция в верхней мантии и астеносфере приводит в действие механизм тектоники плит. Плуиумы, образованные в слое  $D_2$ , поднимаются к поверхности Земли в горячих точках океанических островов и срединноокеанических хребтах. Океаническая кора вследствие остывания в своем латеральном движении в процессе проталкивания вновь образованной мантийной субстанцией в океанических горных хребтах, сталкивается с другой океанической или континентальной плитой и в зависимости от условий столкновения возвращается обратно на глубину в зонах субдукции. В результате исследований было установлено, что в субдукционных зонах «холодное» океаническое вещество слэбов проникает до глубины 660 км (граница верхней и нижней мантии) и там скапливается. Затем частично, в виде капель, обогащенных оксидами железа, оседает в слое  $D_2$  (граница ядра и нижней мантии). С конвекцией связано и рост в слое  $D_2$  мантийных плуиумов, их подъем до поверхности с образованием срединноокеанических хребтов. По этой модели поступающее вещество под влиянием высокой температуры и летучих компонентов, идущих от ядра, плавится и поднимается к верхним горизонтам литосферы в виде плуиумов. По сути, субдукция «разгоняет» тепловую машину и запускает механизм формирования плуиумов, а плуиумы «отводят» избыток тепла, обеспечивают период релаксации и дают толчок новому этапу спрединга.

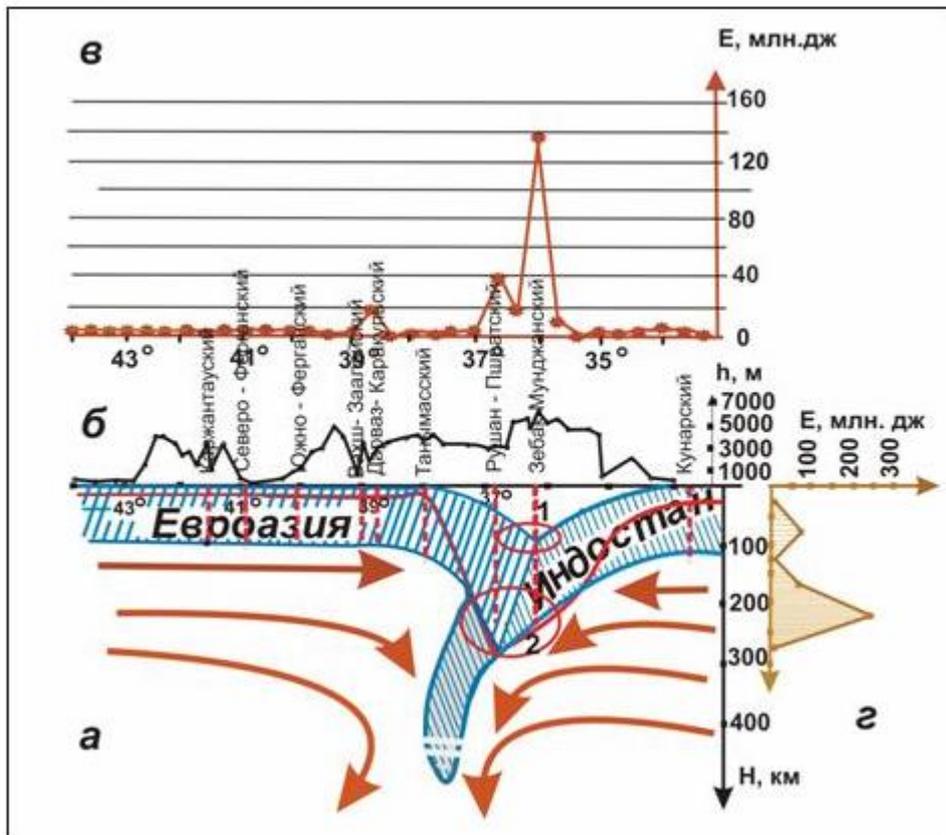
Состояние земной коры и мантии, связанное с наличием зоны субдукции в общем, и в частности, в Памир-Гиндукуше, изучено достаточно многими специалистами. Анализируем некоторых из них для построения численной модели и подбора подходящих значений физических параметров. В первую очередь, надо сказать, что некоторые исследователи, исходя из сейсмологических данных, считают, что в Памире и Гиндукуше имеются две субдуктируемые плиты [7-8]. Измерением предполагаемой длины индийской плиты в Гиндукуше и сравнивая ее с палеомагнитными реконструкциями, авторы работы [8] считают, что процесс разлома индийской плиты, скорее всего, произошел на ранней стадии столкновения, примерно 44–48 млн. лет назад. После разлома Индийская плита продолжала движение на север, пока ее северная граница не достигла нынешнего района Гиндукуша, где она начала опять ломаться. Авторы оценивают возраст начала субдукции в этом регионе приблизительно на 8 млн. лет. Авторы работы [9] исследовали напряженное состояние литосферы Памира с помощью сейсмической томографии и построили скоростную модель. Ими установлены низкоскоростная аномалия на глубине 20-50 км, и высокоскоростная аномалия на глубине 15 км. В мантии восточного Памира на глубинах 150 км ими обнаружен низкоскоростной слой. Они считают, что различие в напряженном состоянии верхней и нижней части Индийской плиты может вызвать интенсивную сейсмичность. Но также имеются достаточно много исследований, где авторы исходя опять-таки из сейсмологических и геолого-геоморфологических данных, утверждают единую зону субдукции [6,10-12].

Поведение субдуктируемой плиты прослежено также в лабораторных условиях. В работе [13] описаны результаты субдукции в прозрачном контейнере с помощью трехслойной модели литосферы, состоящие из очень вязкого слоя (верхняя кора), пластичного слоя (нижняя кора) и менее вязкой мантии. Литосфера лежит на слабвязкой астеносфере, и сдвигающая сила заменена напором поршня. Результаты физического эксперимента соотносятся с процессами, происходящими на Гималаях. В экспериментах все слои литосферы погружаются на глубину, соответствующую в реальности 200–300 км, до тех пор, пока верхний слой соответствующий земной коре не разрушается, образуя первый крупный разлом. Деформация вдоль этого разлома образует рельеф, который при достижении определенной высоты, соответствующей нескольким километрам в природе, механически удаляется, что моделирует процессы эрозии. Эрозия принуждает ранее субдуктированный сегмент всплыть вверх по ослабленным зонам нижней коры со скоростью, сопоставимой со скоростью субдукции. Орогенез происходит благодаря толчку поршня. Но в этом эксперименте не учтена отрицательная плавучесть океанической литосферы. Аналогичные лабораторные моделирования проводились для учета термомеханических факторов при субдукции [14]. На протяжении всего эксперимента верхняя поверхность модели поддерживалась при относительно низкой температуре, а основание модели - при более высокой температуре. Моделирование подтвердило, что континентальная кора может глубоко быть субдуцирована, и разлом плит и тектоническое расслоение являются фундаментальными событиями, имеющими серьезные последствия для последующего развития конвергенции. В

работе [15] приведен доскональный обзор подобных экспериментов и анализирована правомерность применения результатов лабораторных исследований в зонах субдукции на натурные процессы земной коры и мантии.

Некоторые вопросы, связанные субдукцией, исследованы также на основе численных моделей. Методом конечных элементов в работе [16] моделирована упругая литосфера, а в качестве астеносферы принята однородная вязкая жидкость. Температурные эффекты не рассматриваются. Выявлено, что вязкость астеносферы играет важную роль в процессе субдукции. Авторы наблюдали неустойчивость расчетных схем при наращивании временного шага для прослеживания эволюцию зоны субдукции и, тем не менее, установили, что растяжение в верхнем слое приводит к уменьшению напряжения и оно находится в линейной зависимости от вязкости астеносферы. Авторы работы [17] исследовали случай коллизии двух континентальных плит. В их модели сталкиваются континентальная плита с океанической плитой, вслед за которой имеется другая континентальная плита. Сначала океаническая плита тонет под континентальной плитой, пока не произойдет встреча континент-континент. Затем океаническая плита рвется и всплывает, уплощается, образуя узкий слой под континентальной плитой.

Для наших расчетов мы примем схему (рис.1) приведенную в работе [12], где автор с помощью анализа очагов землетрясений и выделившегося сейсмической энергии определил место Индийского литосферного индентора.



*Условные обозначения.* Кружочки: 1 - верхняя область начала соприкосновения, трения, изгиба и поломки литосферных плит, 2 - область непосредственного скольжения, трения и поломки частей литосферных плит под действием конвективных течений (направление сил указаны стрелками), красная жирная линия – соединяет максимальные значения гипоцентров землетрясений, происшедших по профилю, вертикальные штриховые линии – глубинные разломы; изменение высот земной поверхности по профилю (б); изменение выделившейся сейсмической энергии (E) по меридиональному профилю  $71^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$  за 1900-1990 гг. (в); изменение выделившейся сейсмической энергии (E) по глубине в районе контакта литосферных плит за то же период (г).

Рис. 1. Разрез зоны субдукции Индостанской плиты под Евроазию по профилю  $71 \pm 0,5^{\circ}$  (а),

Если исходить из выводов работы [8], то в рассматриваемой нами зоне процесс субдукции океанической плиты под континентальной плитой завершился менее 8 млн лет назад, когда лоб в лоб столкнулись Евразийская и Индийская плиты [6]. Для построения модели напряженного

состояния коллизионной зоны нужно учитывать вклад все еще не оторванной океанической плиты. Прежде всего, необходимо выявить силы, действующие на континентальную и океаническую литосферу, и выяснить вопрос о том, что движет субдуктируемую плиту: конвективное течение мантии или сдвигающие силы океанических хребтов. Анализируя процессы суперконтинентального цикла, авторы работ [5,6,18] считают, что такими силами являются отрицательная плавучесть океанической коры и сдвигающая сила океанической плиты, а дальнейшее движение слэба определяется различными типами конвективных ячеек в астеносфере и мантии.

В связи с движением этого индентора в мантии, где его содержимое вынуждено преобразоваться под действием высоких температур и больших давлений, возникает много вопросов касающиеся их взаимодействий с мантийной средой, одной из проявлений которых является глубокофокусная сейсмичность. Оценим напряженное состояние мантии и земной коры соответствующие современным движениям литосферных плит. Актуален также вопрос о том, как отражаются на земной поверхности землетрясения, возникающие при движении индентора.

**Постановка задачи и методы решения.** Построим двумерную численную модель литосферы Памир-Гиндукуша в сечении плоскости меридиана 71 в.д. Континентального и океанического слоев литосферы моделируем упругими, а астеносферу и мантию вязкой ползучей жидкостью. Хотя составление такой модели теоретически не составляет труда, однако выбор готовых программных продуктов, учитывающих одновременно упругих и вязких свойств среды, не возможен. Отдельно имеются программные пакеты расчета упругих тел или вязких жидкостей, построенные методом конечных элементов. Их трудно состыковать между собой. Поэтому мы создали авторскую программу для зонально однородных тел на основе метода граничных интегральных уравнений. Преимущества этого метода для данной задачи состоит в том, что упругие перемещение и скорости перемещении для ползущей жидкости описываются идентичными уравнениями. Для выбора физических параметров модели мы учли, что в интервале времени до 10000 лет литосфера, определяемая как верхний слой Земли, до глубин температурного солидуса элементов мантии ведет себя как упругое тело [5]. Интегральные уравнения для упругой области относительно неизвестных граничных значений (на некоторой части они задаются) перемещений  $u_i$  и вектора напряжений  $p_j = \sigma_{ij} n_j$  ( $i, j=1,2$ .  $\sigma_{ij}$ - компоненты тензора напряжений,  $n_j$  – компоненты нормали на границе) имеют следующий вид [19]:

$$c_{ij}(x)u_j(x) + \int_S p_{ij}^*(x, \xi)u_j(\xi)dS_\xi = \int_S u_{ij}^*(x, \xi)p_j(\xi)dS_\xi + \int_\Omega u_{ij}^*(x, \xi)b_j(\xi)d\Omega \quad (1)$$

Здесь  $b_j$  – компонента вектора, представляющая собой объемных сил,  $p_{ij}^*$ ,  $u_{ij}^*$  – фундаментальное решение двумерного уравнения Ламе:

$$\sigma_{jk,j}^* + \Delta(\xi, x) \cdot e_k = 0, \quad \langle k=1,2 \rangle, \quad (j=1,2). \quad (2)$$

Они имеют следующее выражение:

$$u_{ij}^* = \frac{1}{8\pi G(1-\nu)} \left\{ (3-4\nu) \ln \frac{1}{r} \delta_{ij} + r_{,i} r_{,j} \right\}, \quad \langle i,j=1,2 \rangle$$

$$p_{ij}^* = -\frac{1}{4\pi(1-\nu)} \left\{ \frac{\partial r}{\partial n} [(1-2\nu)\delta_{ij} + 2r_{,i} r_{,j}] - (1-2\nu)(r_{,i} n_{,j} - r_{,j} n_{,i}) \right\}. \quad (3)$$

Здесь  $S$  – граница двумерной области  $\Omega$ ,  $r_j = x_j - \xi_j$ ,  $\nu$  и  $G$  – упругие параметры, коэффициент  $c_{ij}(x)$  определяется гладкостью  $S$ . В уравнении (1)  $x, \xi$  переменные координаты границ  $S$ , запятая перед индексом означает дифференцирование по этим индексом. Точно такой же вид имеют граничные интегральные уравнения для ползущего движения жидкости относительно скоростей перемещения  $v_i$  и вектора напряжений  $f_j = \sigma_{ij} n_j$  со следующими фундаментальными решениями для уравнения Стокса[20]:

$$v_{ij}^* = \frac{1}{4\pi\mu} \left\{ \ln \frac{1}{r} \delta_{ij} + r_{,i} r_{,j} \right\}, \quad p_{ij}^* = -\frac{1}{\pi} \frac{\partial r}{\partial n} r_{,i} r_{,j}, \quad (4)$$

Здесь  $\mu$  – вязкость среды. Перемещения и напряжения на упругих контактных границ двух континентальных литосфер сопрягаются с учетом фрикционного трения. На границах контакта мантии и литосферных плит задавали условия сцепления в виде  $u_m = kv_t \Delta t$ , где коэффициент  $k$  и  $\Delta t$  варьировались. Имеет смысл проследить эволюцию рассматриваемой зоны в интервале  $\Delta t=100$

лет, поскольку наша схема основывается на данные сейсмической томографии происшедших землетрясений в этом интервале. После нахождения оставшихся неизвестных граничных значений задачи, перемещения и скорости перемещения опять рассчитываются по уравнениям (1), в которых переменная  $x$  – внутренние точки  $\Omega$ ,  $\xi$ -точки границ  $S$ . Разобьем  $S$  на линейные элементы и  $\Omega$  на треугольники, вершинами которых являются внутренние и граничные точки. Дискретизация уравнения (1) с учетом специфики рассматриваемой задачи приводит к линейной алгебраической системе относительно неизвестных значений  $u_j, p_j, v_j, f_j$ . Решение задачи (1) в большинстве случаев некорректна и соответствующая матрица плохо обусловлена. Она регулярирована известным методом Тихонов-Самарского [21]. В объемных интегралах с сингулярной особенностью интегрирование проводится полуаналитически, с переходом на полярную систему координат с началом в особой точке [19]. По значениям  $u_j, p_j, v_j, f_j$  вычисляются  $\sigma_{ij}$ , и по ним наибольшие и наименьшие напряжения во внутренних точках. На границах блоков касательное  $\sigma_\tau$  и нормальное  $\sigma_n$  напряжения находятся по формулам:

$$\sigma_n = p_1 n_1 + p_2 n_2, \quad \sigma_\tau = -p_1 m_2 + p_2 m_1. \quad (5)$$

Рассматриваемая область разделена на 7 частей, каждая из которых имеет постоянную плотность и вязкость, чтоб учесть физическое состояние мантии, континентальной и океанической литосфер на соответствующих глубинах (рис.2). Для упругой задачи можно выбрать упругие константы исходя из сейсмологических данных. Для мантии ниже уровни солидуса можно использовать предложенные в [5,6] значения вязкости. Субдуктируемую литосферу мы разделили на нескольких частей, в каждой из которых среднее значение вязкости соответствует средней температуре этих глубин. Для плотности субдуктируемой плиты мы учли результаты работ [22-23], где сопоставлением давления с диаграммой фазового превращения горных пород сделано предположение, что при коллизии двух плит в соответствующих глубинах базальтового слоя возможен переход габбро и гранулита в тяжелый эклогит, с большей плотностью, чем астеносферный слой. Учет этого обстоятельство создает возможность введения отрицательную плавучесть, что способствует дальнейшему движению вглубь субдуктируемой литосферы. Этот вклад был учтен в работе [4]. Однако в той работе в уравнениях Стокса не были учтены начальные напряжения, имеющиеся в земной коре и мантии, без которых получения реальной картины современных движений невозможны.

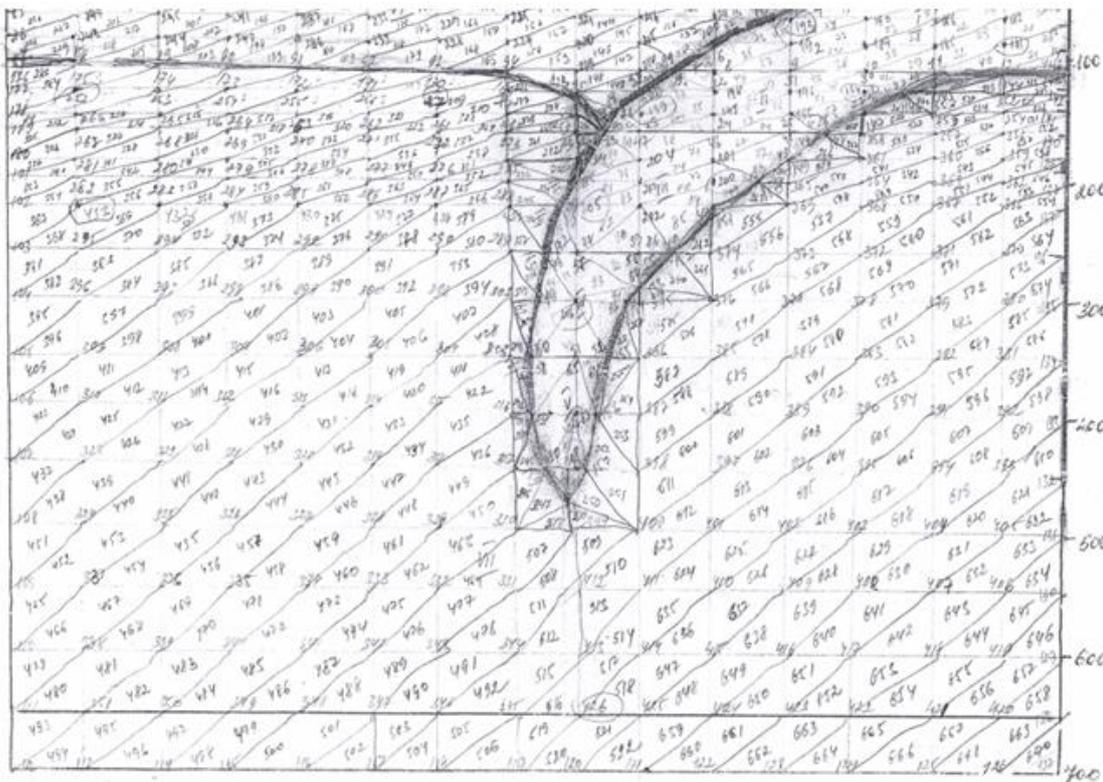


Рис.2 Расчетная сетка для решения граничных интегральных уравнений.

В работе [24] получены средние значения напряжений для земной коры Центральной Азии,

согласующиеся с современным рельефом. При решении уравнений Стокса их примем в качестве начальных напряжений литосферы, а для мантии примем классическую современную модель Земли.

**Результаты и их обсуждение.** Рассчитали два варианта решений соответствующие условно процессам субдукции и коллизии. Согласно лабораторным данным, приведенным в работе [25], вязкость верхней океанической коры и мантии принято равным  $3.98 \cdot 10^{16}$  Па с, а для континентальной  $1.97 \cdot 10^{17}$  Па с, что соответствует верхней части земной коры. Для плотности континентальной коры принято значение  $2875 \text{ кг/м}^3$ , которое является средним для верхней части, а  $2750 \text{ кг/м}^3$  и  $3000 \text{ кг/м}^3$  для нижней части земной коры. Аналогично для океанической коры принято  $3150 \text{ кг/м}^3$  и мантии  $3300 \text{ кг/м}^3$ . Скорость сдвигания океанической коры принято  $10 \text{ см/год}$ . Условно считаем, что левая часть континентальной коры неподвижна. На верхней границе модели задавали условия свободной поверхности.

Для имитации отрицательной плавучести слэба для задачи о субдукции значения плотностей III – IV приняты чуть больше плотности океанической коры согласно выводам работы [23]. На рис.3 приводится картина скоростей (вертикальная координата отражена в километрах в масштабе 1:100).

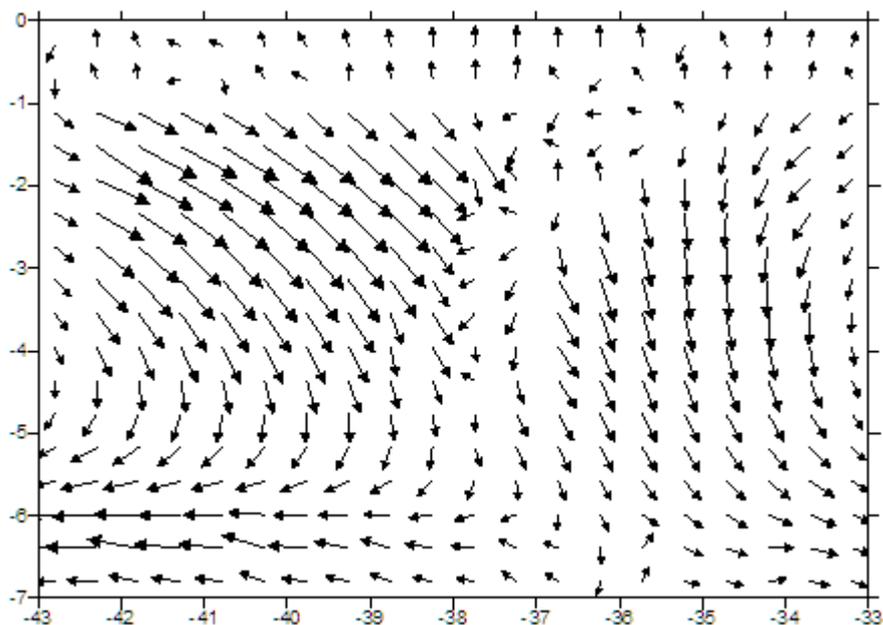


Рис. 3. Конвективное течение мантии характерное в задаче о субдукции океанической плиты.

На рис.4-5 приведены интенсивность касательных напряжения  $\sigma_{int}$  и максимальные касательные напряжения  $\sigma_{max}$  по формулам:

$$\sigma_{int} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + \sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + 6\sigma_{xy}^2} ; \quad \sigma_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2). \quad (6)$$

Здесь  $\sigma_1$  - главное наибольшее, и  $\sigma_2$  – главное наименьшее напряжения.

Отношение интенсивности касательных напряжений к максимальному касательному напряжению составляет приблизительно 0.84, что вполне совпадает с оценкой  $0.816 < \sigma_{int}/\sigma_{max} < 0.941$  приведенная в работе [26] для исследования прочностных свойств пластических материалов. Давление (рис.6) во всей области сжимающее. В узкой зоне контакта континентальной и океанической коры с мантией имеется небольшое растяжение.

Расчеты показали, что картина напряжений сильно зависит от соотношения плотностей и вязкостей рассматриваемых областей. При выбранном нами наборе вязкостей зона максимальных напряжений удовлетворительно совпадают с интервалом глубин 100-250 км максимального выделения энергии приведенный на рис.1.

Нами анализирована динамика выделения сейсмической энергии Гиндукуша во времени и по глубинам (рис. 7).

Их анализ показывает, что на глубинах 0-50 и 100-250 км имеется стабильная тенденция уменьшения выделения сейсмической энергии во времени, хотя в интервале 50-100 км и 250-380 км наблюдается противоположная картина.

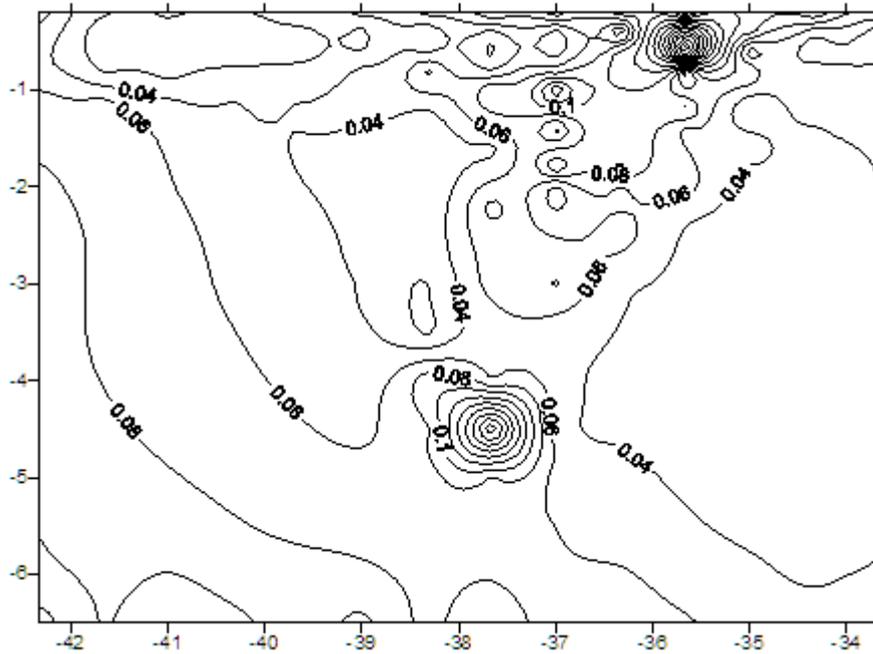


Рис.5. Максимальные касательные напряжения  $\sigma_{\max}/(\mu/\Delta t)$  при субдукции.

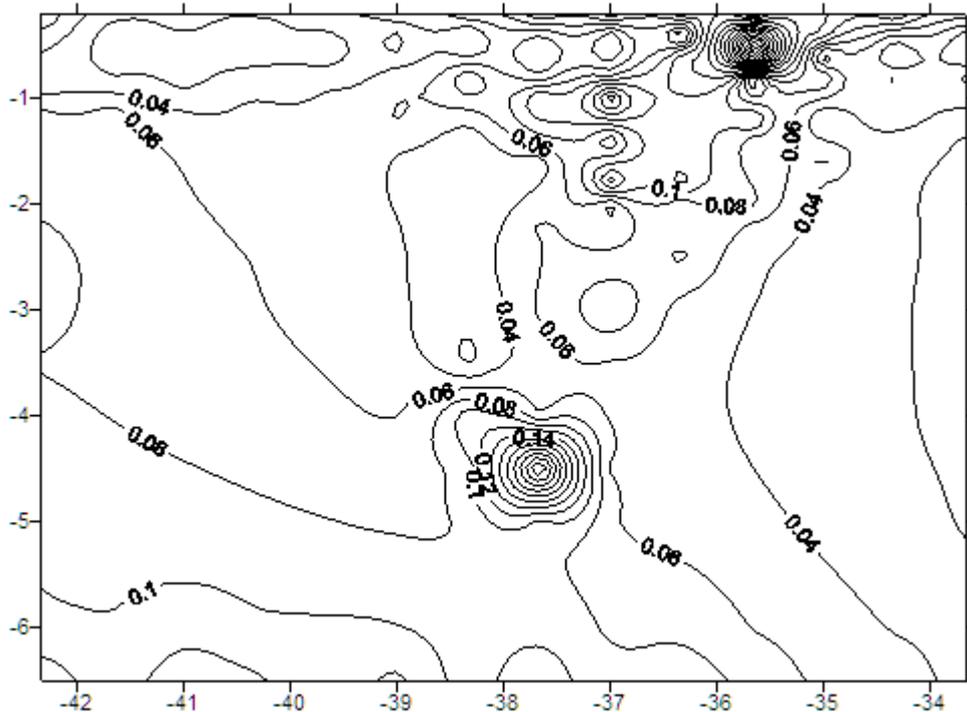


Рис.6. Относительное давление  $p/(\mu/\Delta t)$  при субдукции

Возможно, это связано с потерей отрицательной плавучести и постепенным отколом океанического слэба в связи с наступившемся коллизией. Может оказаться, что в интервале 50-100 км растущая сейсмичность связана вовлечением все более глубоких слоев литосферы в коллизионный процесс, а сейсмичность в интервале 250-380 км постепенно нарастающим термическим коллапсом. Чтобы проверить наши предположение рассчитали вариант имитации коллизии, с плотностями континентальных коры равные  $2875 \text{ кг/м}^3$ .

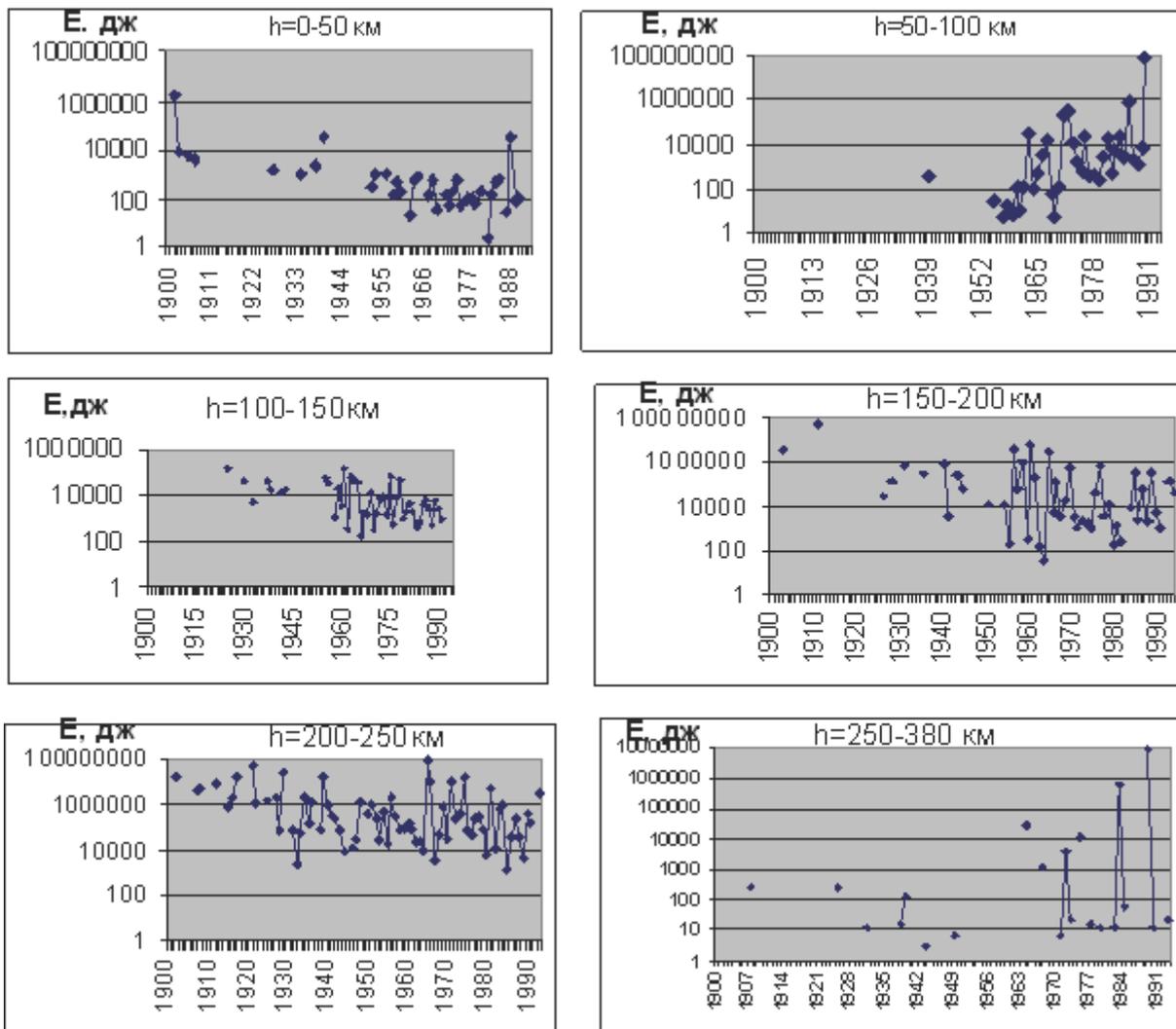


Рис 7. Выделение сейсмической энергии (Е,дж) по глубинам ( h ) в пределах координат 36,2-37,7 70,2-72,6 (Евразийско-Индостанского слэба) в 1900 -1993 гг.

Значения вязкостей остаются такими же, как в случае субдукции. Однако, исходя из выводов работы [25], где утверждается, что на процесс орогенеза, наряду сжимающим силам, немалую роль играет выталкивающая сила подкатившегося астеносферного дифференциата, для значений значений плотностей II –IV областей приняли чуть меньшее значения. На рисунках 8-9 показаны соответствующие распределения интенсивности напряжений и максимальные касательные напряжения.

Сравнения двух вариантов показывают, что при смене процесса субдукции коллизией напряжения в мантии чуть убавляются, а на месте контракции напряжения заметно увеличиваются. Также увеличивается скорость горообразования. В обоих случаях наибольшие значения интенсивности касательных напряжений приходятся действительно на интервал глубин 50-100 и 250-280, что полностью соответствует картине расположения глубин очагов, приведенных на рисунке 7. Как отмечены во многих анализированных нами как лабораторных, так и численных исследованиях, модель очень чувствительна вариациям соотношений вязкостей литосферы и мантии. Считая, что в небольшом отрезке времени 100 лет литосфера и мантия ведут себя одинаково, посчитали напряжение при равных вязкостях, не меняя остальных параметров. При этом полученные значения напряжений на рисунке 10 сильно отличаются от тех, которые приведены на рис.8.

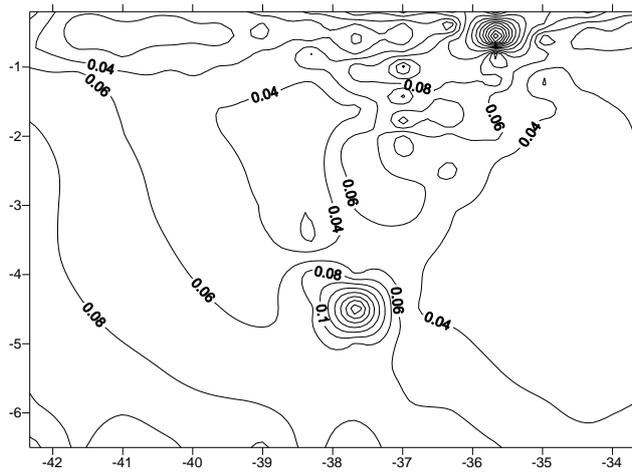


Рис. 8. Интенсивность касательных напряжений  $\sigma_{int}/(\mu/\Delta t)$  при коллизии.

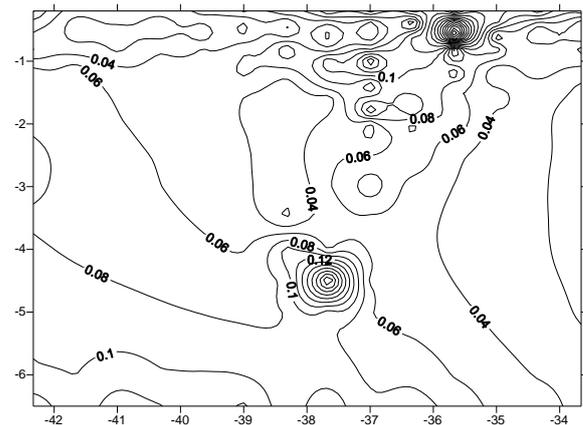


Рис. 9. Максимальные касательные напряжения  $\sigma_{max}/(\mu/\Delta t)$  при коллизии

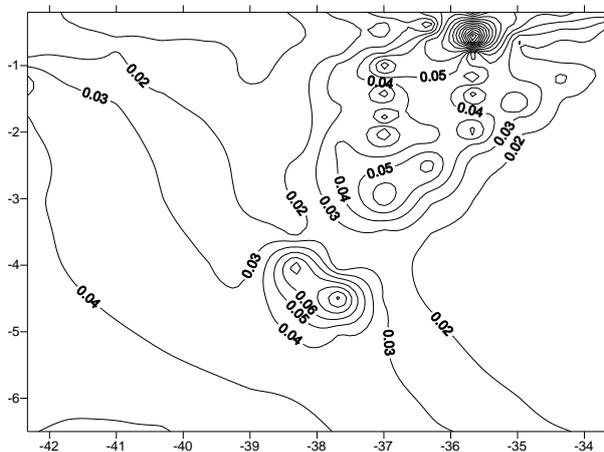


Рис. 8. Интенсивность касательных напряжений  $\sigma_{int}/(\mu/\Delta t)$  при коллизии при равных вязкостях литосферы и мантии.

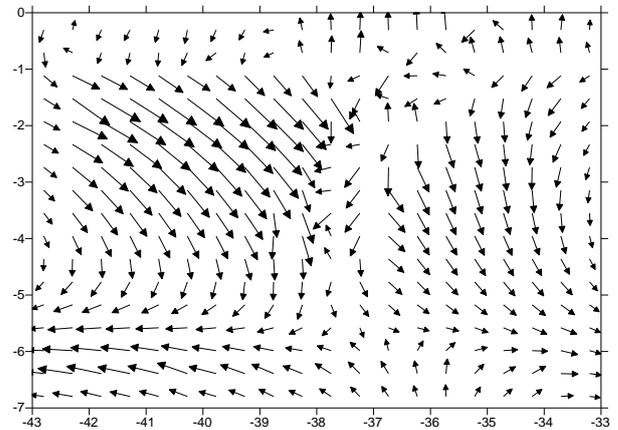


Рис. 11. Конвективное течение мантии по модели коллизии двух плит.

**Заключение.** Результаты численной модели субдукции и коллизии, построенные по уравнениям теории упругости и ползущего движения вязкой несжимаемой жидкости, подтверждают некоторые характерные черты зоны Памир-Гиндукуша, установленные авторами с помощью сейсмической томографии.

### Литература

1. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A., Artikov M.T., 2015. Revealing the seismicity increase in interrelationships in various seismic zones in Uzbekistan as a case study. *Geodesy and Geodynamics*, v.6, No 5, pp. 351-360.
2. Атабеков И.У. Иницирующее действие сильного землетрясения Центральной Азии. *Проблемы сейсмологии*. 2019, №2, С.3-12.
3. Пак В.А. Геодинамика новейшего орогенеза. Ташкент, Изд. Фан, 1984, 168 с.
4. Атабеков И.У. Геодинамическая модель напряжений зон глубокофокусных

- землетрясений в Памир-Гиндукуше. *Проблемы механики*. 1993, №5, С.3-5.
5. Тёркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. В 2х частях, Москва, Мир, 1985, 731с.
6. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. Изд. МГУ, 1995, 477 с.
7. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of continental collision // *Science*. 1975, v.189, pp.419-426.
8. Negredo A.M., Replumaz A., Villaseñor A., Guillot S. Modeling the evolution of continental subduction processes in the Pamir-

Hindu Kush region, Earth and Planetary Science Letters, v.259, Issues 1–2, 2007, pp.212-225.

9. Schneider F.M., Yuan X., Schurr B. Seismic imaging of subducting continental lower crust beneath the Pamir // Earth Planetary Science Letters. 2013, v.375, p.101–112.

10. Буртман В.С. Геодинамика Памир-Пенджабского синтаксиса. Геотектоника. 2013, № 1, С.36–58.

11. Муминов М.Ю. Новая версия геодинамической модели Центральной Азии. Геология и минеральные ресурсы. 2017, №1, С.59-64.

12. Муминов М.Ю. Марказий Осиё зилзилаларини келтириб чиқараётган геодинамик жараёнлар. “Зилзила билан боғлиқ юзага келиши мумкин бўлган фавқултда вазиятларда аҳолининг хавфсизлигини таъминлаш масалалари”, илмий-амалий семинар материаллари. Тошкент. Ўзбекистон Республикаси Фўқаро муҳофазаси институти, 2019 й. 12 октябрь, 34-40 б.

13. Chemenda A. I., Mattauer M., Malavieille J., Bokun A.N. A mechanism for syn-collisional rock exhumation and associated normal faulting: Results from physical modeling, Earth and Planetary Science Letters, v.132, Issues 1–4, 1995, p.225-232.

14. Chemenda A.I., Burg J., Mattauer M. Evolutionary model of the Himalaya–Tibet system: geopoe: based on new modeling, geological and geophysical data, Earth and Planetary Science Letters, v.174, Issues 3–4, 2000, p.397-409.

15. Schellart W.P., Strak V. A review of analogue modeling of geodynamic processes: Approaches, scaling, materials and quantification, with an application to subduction experiments. Journal of Geodynamics, 100(2016), pp.7-32.

16. Bonnardot M.A., Hassani R., Tric E.

Numerical modeling of lithosphere asthenosphere interaction in a subduction zone, Earth and Planetary Science Letters, v.272, Issues 3–4, 2008, pp. 698-708.

17. Magni V., Allen M.B. van Hunen J., Bouilhol P. Continental underplating after slab break-off. Earth and Planetary Science Letters, v.476, 2017, pp.59-67.

18. Coltice N., Husson L., Faccenna, C. Arnould M., What drives tectonic plates? Sci. Adv.2019;5:eaax4295, 30 October 2019, pp.1-9.

19. Бреббия К., Телес Ж., Вробел Л. Методы граничных элементов, М., Изд. «Мир», 1987, 524 с.

20. Ладыженская О.А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. М. Изд. «Наука», 1970, 288 с.

21. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979, 285 с.

22. Robert W. & Kay S. Mahlburg. 1993. Delamination and delamination magmatism. Tectonophysics, 219(1-3), pp.177–189.

23. Liou J. G., Zhang R. Y., Ernst W. G. Very high-pressure orogenic garnet peridotites. PNAS May 29, 2007 104(22) 9116-9121.- [www.pnas.org/content/104/22/9116](http://www.pnas.org/content/104/22/9116).

24. Атабеков И.У. Математическая модель тектонических течений в литосфере Центральной Азии. Проблемы сейсмологии. 2019, №1, С.24-33.

25. Herwegh M, Berger A, Glotzbach C, Wangenheim C, Mock S, Wehrens P, Baumberger R, Egli D, Kissling E, Late Stages of Continent-Continent Collision: Timing, Kinematic Evolution, and Exhumation of the Northern Rim (Aar Massif) of the Alps, Earth-Science Reviews (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102959>

26. Ильюшин А.А. Пластичность, ОГИЗ, М-Л. 1948, 376 с.

ЎЎК 551.24

Шукуров З.Ф.

ЎзР ФА Сейсмология институти, Тошкент ш., Ўзбекистон Республикаси, [zukhriddin85@mail.ru](mailto:zukhriddin85@mail.ru)

### GNSS ЎЛЧОВ МАЪЛУМОТЛАРИНИ GAMIT-GLOBK МУХИТИДА ҚАЙТА ИШЛАШ ВА ТАХЛИЛ ҚИЛИШ

**Shukurov Z.F.**

*O‘zR FA G‘A.Mavlonov nomidagi Seismologiya instituti.*

### GNSS O‘LCHOV MA‘LUMOTLARINI GAMIT-GLOBK MUHITIDA QAYTA ISHLASH VA TAHLIL QILISH

**Annotatsiya.** Maqolada sun‘iy yo‘ldosh navigatsiya asoslari keltirilgan: tranzit to‘lqin vaqtini aniqlash printsiplari va GNSS qurilmalarning ishlash printsiplari, GPS qabul qiluvchi qurilmaning aniqlik darajasi bo‘yicha turlari, GPS tomonidan olingan koordinatalar aniqligini pasaytiruvchi xatolik manbalri, GPS ma‘lumotlarini GAMIT-GLOBK dasturida qayta ishlashning bosqichma-bosqich jarayoni, O‘zbekiston sharoitida birinchi marotaba amalga oshirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari natijalari. GNSS o‘lchov ma‘lumotlarini GAMIT-GLOBK muhitida qayta ishlash va tahlil qilish natijalari endogen geologik jarayonlar monitoringini olib borish, seysmik faol zonalarda tog‘

jinslarini keskin deformatsiyaga uchrashi o'zgarishlarini tezkor baholash, aholi va hududlarni havfli tabiiy ofatlardan muhofaza qilishda muhim ahamiyatga ega bo'lib, hududlarning seysmik xavfsizligini ta'minlashga muayyan darajada hizmat qiladi.

**Kalit so'zlar:** sun'iy yo'ldosh navigatsiya tizimlari, tranzit to'lqinlar, GNSS, GPS, GAMIT-GLOBK, H va GLX fayllari, yer qobig'ining zamonaviy harakatlari, endogen geologik jarayonlar monitoringi.

### Шукуров З.Ф.

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз.*

#### ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ GNSS В СРЕДЕ GAMIT-GLOBK

**Аннотация.** В статье приводятся основы спутниковой навигации: принцип определения времени транзитной волны и принцип работы GNSS приемников, основные типы принимающего устройства GPS по степени точности, источники ошибок, которые снижают точность координат полученных с помощью GPS, поэтапное процесс обработки данных GPS на программы GAMIT-GLOBK, полученные результаты научно-исследовательской работы, проведенной впервые в условиях Узбекистана. Результаты обработки и анализа данных измерений GNSS в среде GAMIT-GLOBK служат для мониторинга эндогенных геологических процессов, оперативной оценки изменений резко деформированных горных пород в сейсмически активных зонах, имеют важное значение в защите населения и территорий от опасных природных бедствий и в определенной степени служат обеспечению сейсмической безопасности регионов.

**Ключевые слова:** системы спутниковой навигации, транзитной волны, GNSS, GPS, GAMIT-GLOBK, H и GLX файлы, современные движения земной коры, мониторинг эндогенных геологических процессов.

### Shukurov Z.F.

*Institute of Seismology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.*

#### PROCESSING AND ANALYSIS OF GNSS MEASUREMENT DATA IN THE GAMIT-GLOBK SOFTWARE

**Annotation.** The article presents the fundamentals of satellite navigation: the principle of determining the transit time of the waves and the principle of operation of GNSS receivers, main types according to the degree of GPS receivers in terms of accuracy, sources of errors that reduce the accuracy of coordinates obtained using GPS, a stepwise process for processing GPS data into the program GAMIT-GLOBK, the results of research work carried out for the first time in Uzbekistan. The results of processing and analysis of GNSS measurement data in the GAMIT-GLOBK environment are used for monitoring endogenous geological processes, rapid assessment of changes in sharply deformed rocks in seismically active zones, are important in protecting the population and territories from dangerous natural disasters, and to a certain extent serve to ensure the seismic safety of regions.

**Keywords:** satellite navigation systems, transit waves, GNSS, GPS, GAMIT-GLOBK, H and GLX files, modern movements of the earth's crust, monitoring of endogenous geological processes.

**Кириш.** Жаҳон амалиётида табиий ва техноген турдаги офатлардан ҳимояланиш, жумладан, аҳоли ва ҳудудларни сейсмик хавфини баҳолаш бугунги кунда муҳим аҳамият касб этади. Дунёнинг ривожланган давлатларида эндоген геологик жараёнлар мониторингини олиб боришда глобал навигацион йўлдошлар тизимлари (GNSS) маълумотларини қайта ишлаш ва таҳлил қилиш, унинг моделларини тузиш билан бевосита географик ахборот тизимларини (ArcGIS) қўллаш ишлари асосий восита сифатида хизмат қилмоқда. Бу борада ер қаърининг ҳолатини баҳолаш бўйича эндоген геологик жараёнлар мониторинг тизимида замонавий услубларни қўллаш тадқиқотлари давлатларни ижтимоий-иқтисодий, барқарор ривожлантиришга хизмат қилади.

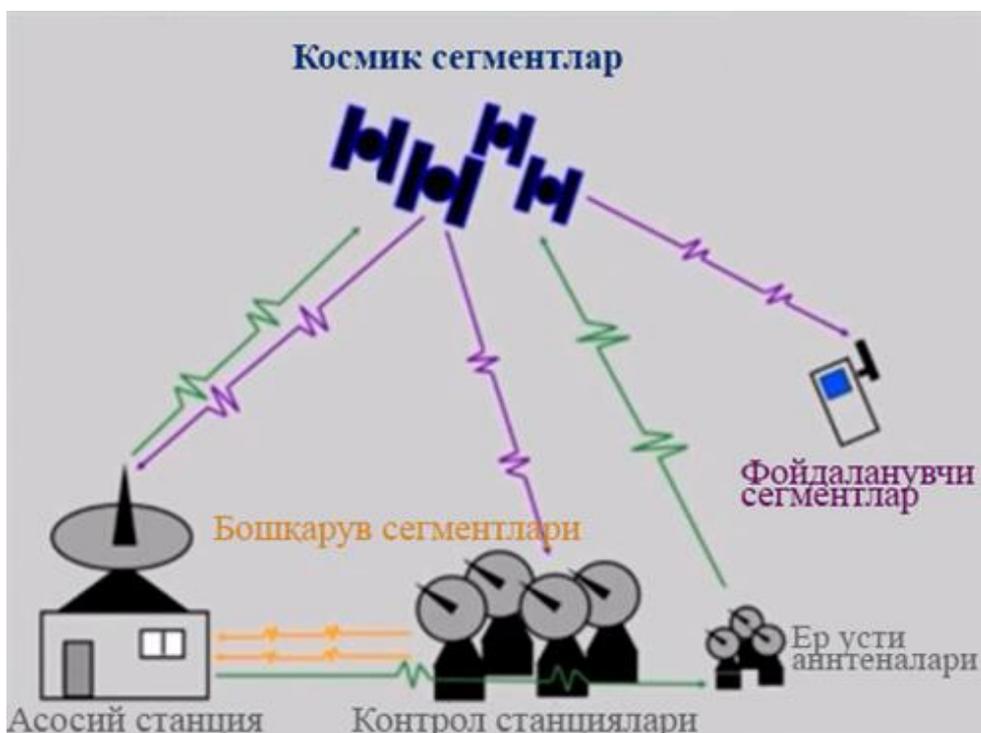
Бугунги кунда жаҳонда zilzilalarни прогноз қилиш масаласи бўйича эндоген геологик жараёнларни баҳолаш, геологик муҳитнинг кучланганлик-деформацион ҳолатини аниқлаш, ер қобиғининг замонавий ҳаракатлари моделларини ишлаб чиқиш бўйича қатор илмий изланишлар олиб борилмоқда. Хусусан, АКШ, Германия, Франция, Япония, Жанубий Корея, Хитой ва Россия каби давлатларда ер қобиғининг деформацион ҳолатини моделлаштиришда халқаро космогеодезик ўлчов тизимидаги нуқталардан узлуксиз олинаётган ҳаракатлар тўғрисидаги маълумотларни қўллашга алоҳида аҳамият берилмоқда. Бундай илмий ёндашув GNSS маълумотларини замонавий ГИС технологиялари асосида қайта ишлаш, таҳлил қилиш ва zilzilalarни прогношлаш услубиятини такомиллаштириш имкониятини беради.

Мамлакатимизда аҳоли ва ҳудудларнинг сейсмик хавфини баҳолаш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Хусусан Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш

бўйича ҳаракатлар стратегиясида «...одамларнинг экологик хавфсиз муҳитда яшашини таъминлаш...» вазифалари белгилаб берилган [2]. Бу борада Тошкентолди ва унинг атрофидаги ҳудудлар республикамизнинг демографик жиҳатдан аҳоли зич жойлашган ҳудудларидан бири саналади, қолаверса, бу ҳудудларда иқтисодиёт учун саноат аҳамиятига эга бўлган кўплаб ишлаб чиқариш объектларини жойлашганлигини ҳисобга олган ҳолда ҳудудни кучланганлик-деформацион ҳолатини баҳолаш мақсадида, комплекс геологик-геофизик ва геодезик тадқиқотларини олиб бориш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади. Маълумки, ер қобиғининг кучланганлик-деформацион ҳолатини бевосита тадқиқ этиш ишлари, биринчи ўринда, замонавий вертикал ва горизонтал ҳаракатларни аниқлаш орқали амалга оширилади. Олиб борилган тадқиқот натижалари юқорида келтирилган масалаларни муайян даражада ҳал қилишга хизмат қилади.

**Тадқиқот усули.** GPS ёки GNSS - глобал жойлашишни аниқлаш тизими ёки сунъий йўлдош навигация тизими бўлиб, ер юзининг исталган нуқтасида координаталарни (узқлик, кенгик ва баландлик) ва вақтни (UTC бўйича) аниқлаш учун қўлланилади. Ҳаракат тезлиги ва йўналиши мана шу кўрсаткичлар орқали аниқланади.

GPS уч хил сегментдан ташкил топган (1-расм): 1. Космик сегмент – Ер орбитаси бўйлаб ҳаракатланувчи йўлдошлар; 2. Бошқарув сегменти – экватор яқинида жойлашган, йўлдошларни бошқариш учун керакли станциялар; 3. Фойдаланувчи сегментлар – GPS тўлқинларини қабул қилувчи ва ундан фойдаланувчи воситалар [2,3].



1-расм. GPS нинг уч хил сегментлари [2,3].

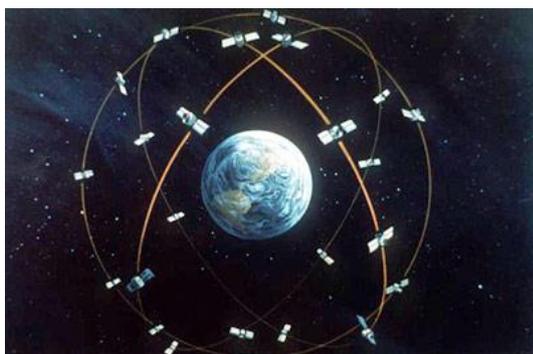
Бугунги кунда космик сегментлар ҳаракатдаги 32 йўлдошлардан иборат бўлиб, 6 хил орбита бўйлаб йўлдошлар мунтазам равишда ҳаракатланади (2-расм).

Йўлдошлар Ер юзасидан ўртача 20000 км узқликда ва экваторга  $55^{\circ}$  оған ҳолатда жойлашган. Ҳар бир йўлдош орбитани 12 соатда тўлиқ айланиб чиқади. Ернинг айланиши ҳисобига йўлдош ўзининг дастлабки ҳолатига 23 соату 56 минутда қайтади. Ҳар бир йўлдош бортида аниқлиги жуда катта 4 та атомли соат жойлаштирилган. Соатлар асосан 10,23 МГц частотада ишлайди, улар йўлдошлардан узатиладиган тўлқинларни тарқатиш учун ишлатилади [2,3].

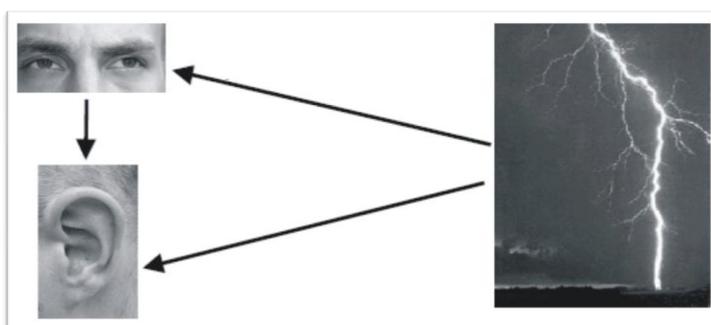
Бошқарув сегмени асосий бошқарув станциясидан, 5 та назорат станцияси ва 4 та ер усти антенналаридан иборат бўлиб, экватор яқинига тенг миқдорда тақсимланган. Бошқарув сегменти орқали GPS йўлдошлари кузатилади, уларни орбита бўйлаб жойлашишлари янгиланиб турилади,

атом соатларини калибровка ва синхронлаштириш ишлари бажарилади. Йўлдош тўлқинларини Асценсион, Диего, Гарсия ва Кваджалейндаги станциялар қабул қилади. Кейин ўлчашлар асосий бошқарув станцияси Колорадо Спрингсга жўнатилади ва қайта ишланади. Бунда, асосий мақсад ҳар бир йўлдош тўлқини хатолигини топиш ва бу хатоликларни автоматик тарзда тўғриладан иборат [2,3].

Фойдаланувчи сегментлар GPS тўлқинларини қабул қилувчи воситалардир, масалан: самолёт, автобус, телефон, GPS қурилмалари ва ҳоказолар [2,3]. GPS йўлдошлари вақт бўйича тўлқинларни тарқатувчи қурилмалар ҳисобланади. Глобал жойлашишни аниқлаш учун транзит тўлқин вақтини аниқлаш принципига асосан уч ўлчовли маконда тўлқинларни вақт бўйича тарқатувчи камида тўртта қурилма керак. Бу жараёни қуйидаги мисолда кўриб чиқамиз (3-расм), масофа нисбатан осон аниқланади: масофа = чақмоқнинг чақнаш пайти (бошланиш вақти) ва чақмоқ овозининг пайдо бўлиш пайти (охирги вақти) фарқлари товуш тезлиги билан кўпайтирилади (тахминан 330 м/с).

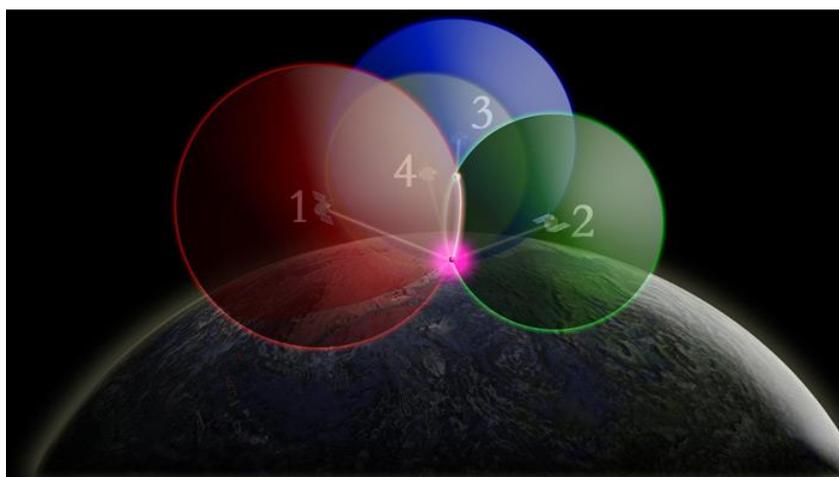


2-расм. GPS нинг космик сегментлари [2,3].



3-расм. Транзит тўлқин вақтини аниқлаш принципи [2].

Бошланиш ва охирги вақт ўртасидаги фарқ тўлқиннинг транзит вақти ҳисобланади [2,3]. Масофа = транзит вақт · товуш тезлиги. GPS тизими ҳам худди шу принципга мувофиқ ишлайди. Аниқ координатани ҳисоблаш учун, кузатув нуқтаси ва жойлашуви маълум бўлган тўртта бошқа сунъий йўлдошлар ўртасидаги электромагнит тўлқиннинг транзит вақтини ўлчаш керак (4-расм).



4-расм. Уч ўлчовли маконда координаталарни аниқлаш принципи [2,3].

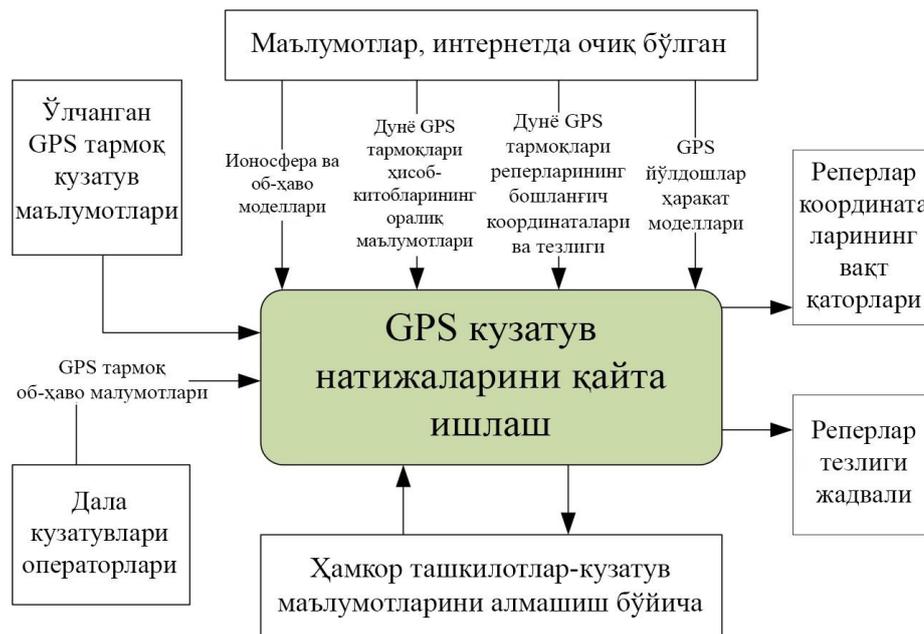
GNSS ёрдамида координаталарни аниқлашнинг турли усуллари мавжуд. Танлов аниқлик даражасига, истемолчи томонидан қўйиладиган талабга ва GPS қабул қилувчи қурилма турига боғлиқ. Умуман, усулларни учта асосий синфга бўлиш мумкин: автоном навигация, координаталар аниқлиги 20-100 м; дифференциал мувофиқлаштириш, координаталар аниқлиги 0,5-5 м; дифференциал фаза ўлчовлари, координаталар аниқлиги 0,5-20 мм [2,3].

GPS маълумотларининг аниқлиги бир-неча турдаги хатоликлар билан боғлиқ. Ҳозиргача амалиётда GNSS базасида олинган координаталар жуда аниқ ва хатосиз деб ҳисобланади. Лекин доим ҳам ундай бўлавермайди, чунки GNSS базасида интерактив олинадиган координатларнинг аниқлигини пасайтирувчи бир неча ҳолатлар мавжуд. Бу ҳолат манбалари: 1. Электромагнит тўлқинларни ионосфера ва атмосферадан ўтишидаги тугилишлар; 2. Сунъий йўлдош ва қабул қилувчи қурилманинг вақт хатоликлари; 3. Электромагнит тўлқинларни қайта акслантирувчи манбалар; 4. Сунъий йўлдошларнинг геометрик жойлашуви; 5. Танланган дастулар (S/A); 6. Кодли маълумотларни шифрлаш – Anti Spoofing (A-S) [2,3].

Дала кузатувларида GPS ўлчовлари реал вақтда амалга оширилади, яъни мобил станциялар бир вақтнинг ўзида йўлдош тўлқинларини қайд қилиши керак. GPS қурилмалари статик режимда камида 8 соат вақт давомида ишлаши лозим, натижаларнинг аниқлиги GPS станцияларининг кўп вақт давомида ишлаши билан боғлиқ. Чунки GPS йўлдоши Ер орбитасини тўлиқ айланиб чиқишига 24 соат вақт кетишини ҳисобга олсак, мм даражасидаги аниқликларга 1, 2 ва 3 кечакундуз давомидаги узлуксиз ўлчов ишлари орқали эришилади. Доимий равишда ишловчи GPS станцияларида олинган натижаларнинг аниқлиги юқори бўлади, сабаби ўлчов ишлари ҳар 30 секундда амалга оширилади. GPS тадқиқотларимиз юқори аниқликдаги дифференциал фаза ўлчовлари асосида бажарилган.

**Маълумотларни қайта ишлаш жараёни.** GPS маълумотларини қайта ишлаш жараёни Linux/Unix операцион тизимида ишлайдиган АКШнинг Массачусетс технология институти олимлари томонидан яратилган GAMIT-GLOBK дастури асосида бажарилган [4,5,6]. Дастурнинг афзаллиги, уни ярим автоматик ҳолатда ишлашидир.

Интернетда очик бўлган GPS маълумотлари, ҳамкор ташкилотлар GPS маълумотлари, ўлчанган GPS маълумотлари қуйида келтирилган GPS маълумотлари оқимлари диаграммаси кўринишида қайта ишлаш учун бир жойга йиғилади (5-расм).



5-расм. GPS маълумотлари оқимлари диаграммаси (А.Н.Мансуров, [7]).

GAMIT дастурида қайта ишлаш жараёнининг биринчи босқичида ҳамкор ташкилотлар ва дала шароитида ўлчанган GPS маълумотлари дунё GPS тармоқлари маълумотлари билан бир тизмига келтирилади. Яъни GPS қурилмаларнинг деярли барча характеристикалари бир хилликка келтирилади. Сабаби қайта ишлаш жараёни ярим автоматик ҳолатда ўтганлиги учун барча қайта ишлаш жараёнига кирувчи маълумотларни жой-жойига қўйиш зарур.

Дала ишларида ўлчанган «сирой» (хомаки) маълумотлар компьютерга кўчирилади. GPS маълумотлари TEQC махсус дастури орқали RINEX форматга ўтказилади. Қуйида, Фарғона GPS станциясининг 2011 йилнинг 190, 191, 192, 193, 194 кунларидаги GPS маълумотлари, 2012, 2013

Йилнинг худди шу кунларидаги GPS маълумотлари билан биргаликда қайта ишлаш жараёни мисол тариқасида келтирилган. RINEX форматининг ички кўриниши қуйидаги 6-расмда келтирилган.

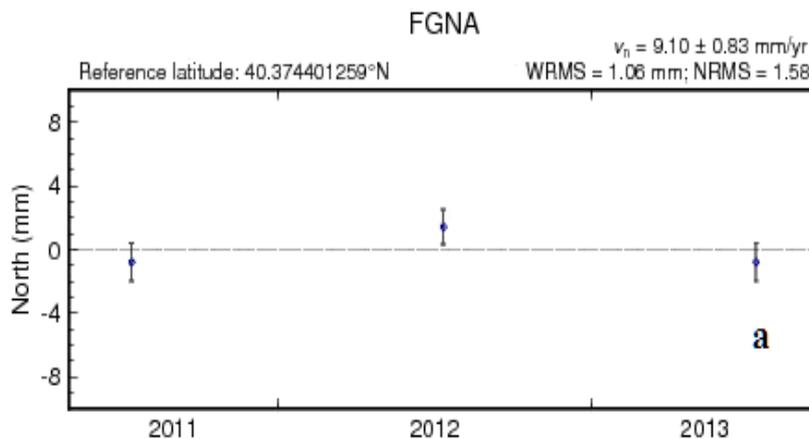
```

fgna1900.11o fgna1910.11o fgna1920.11o fgna1930.11o fgna1940.11o
1      2.11      OBSERVATION DATA      M (MIXED)      RINEX VERSION / TYPE
2      teqc      2018Jun8      20180703 09:34:42UTCPGM / RUN BY / DATE
3      Linux 2.6.32-573.12.1.x86_64|x86_64|gcc -static|Linux 64|=+ COMMENT
4      BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION      COMMENT
5      FGNA      MARKER NAME
6      ZAHA      ISUZ      OBSERVER / AGENCY
7      356725      LEICA GRX1200GGPRO 8.00/3.019      REC # / TYPE / VERS
8      LEIAT504GG NONE      ANT # / TYPE
9      1521195.7291 4622420.5851 4110096.3681      APPROX POSITION XYZ
10     0.3000      0.0000      0.0000      ANTENNA: DELTA H/E/N
11     1      1      WAVELENGTH FACT L1/2
12     6      L1      L2      C1      P2      S1      S2      # / TYPES OF OBSERV
13     10.0000      INTERVAL
14     COMMENT
15     Project creator:      COMMENT
16     SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]      COMMENT
17     L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9)      COMMENT
18     2011      7      9      0      0      0.0000000      GPS      TIME OF FIRST OBS
19     15      LEAP SECONDS
20     END OF HEADER
21     11      7      9      0      0      0.0000000      0      14G24G19G14G22G11G18G31G09R17R12R01R02
22     R18R11
23     126166108.444 6      98311262.26245      24008612.780      24008612.420      41.500
24     34.750
25     124836029.583 7      97274815.75846      23755507.120      23755503.420      46.000
26     40.500
    
```

6-расм. Фарғона GPS станцияси RINEX формати (З.Ф.Шукуров, 2018)

Юқорида таъкидланганидек, координатларнинг аниқлигини пасайтирувчи хатоликларнинг вариациялари RINEX файл ичидаги бирламчи X, Y, Z координаталар қийматларидан GAMIT дастури орқали чиқариб ташланади ва натижада h-файл яратилади. GAMIT дастурида қайта ишлаш жараёни ярим босқичга келганда, GPS станцияларининг h-файллари аниқлигини ўзида акс эттирган графиклар олинади. Бу графиклардан h-файлларининг аниқликлари текширилади. Агар h-файлларнинг аниқликлари бизни қаноатлантирса, кейинги босқичларга ўтилади, акс ҳолда яна биринчи босқичга қайтиб, ҳамма нарса жойида ва тўғри эканлиги текширилади, шундан сўнг жараён яна қайтадан давом этирилади.

GAMIT дастурида қайта ишлашнинг сўнги босқичида реперлар координаталарининг вақт қаторлари, реперлар тезлиги жадвали - GPS станцияларининг йиллик ўртача горизонтал ва вертикал ҳаракатларининг тезлиги жадвали олинади. Қуйида мисол тариқасида Фарғона GPS станцияси h-файлининг аниқлиги текширилган 7-расм келтирилган.





8-расмда келтирилган блок схемага асосан алгоритмлар шартли равишда globk ва gred модулларини ишга туширилишидан олдин амалга оширилган ҳамда globk ва gred нинг ишга туширилиши билан боғлиқ ҳаракатларга бўлинади. globk ва gred модулларини ишга туширилишидан олдинги амаллар GAMIT дастури билан, globk ва gred нинг ишга туширилиши билан боғлиқ амаллар эса, GLOBK дастури билан боғлиқ. Юқорида келтирилган блок-схемада GAMIT-GLOBKнинг деярли барча амаллари уйғунлаштирилган. Ушбу блок-схемага асосан компьютер технологияси орқали амалларни ўзида ифодаловчи алгоритмлар тузиб, GPS маълумотларини қайта ишловчи янги дастур яратиш мумкин.

**Олинган натижалар.** GLOBKда маълумотларни қайта ишлаш жараёни ярим автоматик ҳолатда бўлади, бунда асосан 2 турдаги натижалар олинади:

1. Вақтинчалик координаталар қаторлари реперлари [4,5,6,7];
2. Реперлар тезликлари каталоги [4,5,6,7].

Қуйида GLOBK дастури орқали 3 йил давомида олинган ер қобиғининг ўртача йиллик ҳаракат тезлиги қуйидаги 1-жадвалда келтирилган.

Жадвал 1. Ўзбекистон ва унинг атрофидаги ҳудудлар GNSS тармоғи станцияларининг сўнгги йиллардаги замонавий ҳаракатлар тезликлари (ер марказига нисбатан).

Координаталар		Тезлик, мм·йил <sup>-1</sup>		Баландлик, мм·йил <sup>-1</sup>	Станция коди
Узоқлик	Кенглик	Шарқий ташқил этувчи	Шимолий ташқил этувчи		
115,89249	39,60860	31,32	-11,56	-0,31	BIFS*
107,05233	47,86507	28,22	-8,56	0,80	ULAB
104,31624	52,21902	24,55	-7,17	1,03	IRKM*
96,83397	-12,18834	45,05	64,71	5,94	COCO
91,10403	29,65733	44,74	17,76	1,00	LHAZ*
87,60067	43,80795	31,82	6,88	1,49	URUM
82,90949	55,03050	24,67	0,21	-3,53	NOVM*
77,57038	13,02117	45,88	38,79	0,89	IISC*
74,75110	42,99850	27,06	2,51	-4,64	CHUM*
74,69427	42,67977	27,81	4,96	-1,36	POL2*
72,77750	40,52993	27,46	9,09	-1,28	OSHK
71,78410	40,37440	27,99	9,43	-0,35	FGNA
69,29557	41,32805	24,02	3,27	-2,97	TASH*
66,88545	39,13477	28,73	4,72	0,27	KIT3
58,56046	56,42982	25,85	5,81	4,30	ARTU*
33,39645	35,14099	19,58	16,57	-1,63	NICO*

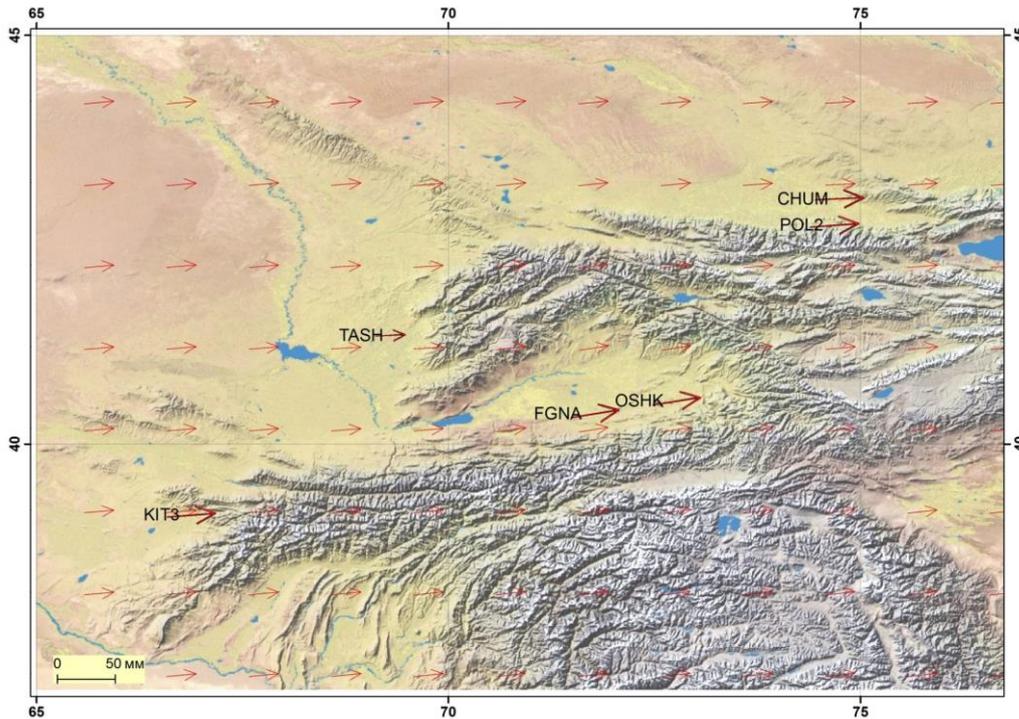
Тадқиқотга доир ишимиздаги аниқланиши кўзланган натижа жадвал кўринишида олинади, яъни реперлар тезликлари каталоги жадвали. Бу жадвалда 2011-2013 йилларда ўлчанган GPS маълумотлари натижалари акс этган.

Олиб борилган тадқиқот ишлари натижасида илк бор Ўзбекистон шароитида GAMIT-GLOBK дастури асосида Шарқий Ўзбекистон ва у атрофидаги ҳудудлар ер қобиғининг сўнгги даврлардаги GNSS ўлчов натижалари қайта тадқиқ этилди ҳамда Тошкент, Фарғона, Китоб ва қўшимча яна 13 та GPS станцияларининг замонавий ҳаракатлари аниқланди (1-жадвал).

Юқорида келтирилган жадвалга асосан GNSS станцияларининг Шарқий ва Шимолий йўналишлар бўйича йиллик ўртача тезликлари натижалари Globk дастури асосида қайта ишланди ва таҳлил қилинди. Шарқий ташқил этувчи бу Гринвич, 0° меридиандан GNSS станциясигача бўлган масофа, Шимолий ташқил этувчи эса, ернинг экватор чизиғидан GNSS станциясигача бўлган масофа. Бу иккита Шарқий ва Шимолий ташқил этувчиларнинг 2011-2013 йиллардаги горизонтал ҳаракатлари асосида ер марказига нисбатан GNSS станцияларининг йиллик ўртача

горизонтал ҳаракатлари тезликларининг векторли харитаси тузилди (9-расм).

**Хулоса.** Илк бор Ўзбекистон шароитида GAMIT-GLOBK дастури асосида Шарқий Ўзбекистон ва унинг атрофидаги ҳудудларнинг сўнгги даврдаги GNSS ўлчов натижалари ҳудудий ягона тизимга келтирилиб, қайта ишлаш таъминланди. Натижалар Тошкент, Фарғона, Китоб ва яна 13 та GPS станциялари ер қобиғининг замонавий горизонтал ва вертикал ҳаракатларини аниқлаш, ер қобиғининг замонавий ҳаракатларини тизимли кузатиш ва таҳлил қилиш имконини беради.



9-расм. Шарқий Ўзбекистон ва у атрофидаги ҳудудлар GNSS станциялари ер қобиғининг йиллик ўртача горизонтал ҳаракатлари тезликларининг Globk модели, ер марказига нисбатан (З.Ф.Шукуров, 2018 й.)

Бевосита масофавий космогеодезик усулларни қўллаган ҳолда GNSS ўлчов маълумотларини GAMIT-GLOBK муҳитида қайта ишлаш ва таҳлил қилиш Шарқий Ўзбекистон ва унинг атрофидаги ҳудудлар ер қобиғида геологик-тектоник жараёнлар таъсирида ҳосил бўладиган вертикал ва горизонтал ҳаракатларнинг вариацияларини таҳлил қилиш ҳамда сўнгги йиллардаги геодинамик жараёнларни миқдорий жиҳатдан баҳолаш имконини берди.

#### Адабиётлар

1. *Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони*
2. <http://www.tk-chel.ru/download/doc/BasicGPS.pdf>. Оновы спутниковой навигации. 2007 г.
3. [http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2018/ait-gnss/09\\_M1.pdf](http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2018/ait-gnss/09_M1.pdf). Introduction to Global Navigation Satellite System (GNSS). 2018y.
4. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GAMIT. Reference manual. GPS analysis at MIT. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. - 182 p.
5. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. - 87 p.
6. Herring, T.A., Melbourne T.I., Murray M.H., Floyd M.A., Szeliga W.M., King R.W., Phillips D.A., Puskas C.M., Santillan M., Wang L. Plate boundary observatory and related networks: GPS data analysis methods and geodetic products. - 2016. Rev. Geophys. 54, doi:10.1002/2016RG000529.
7. Мансуров А.Н. Автоматизация расчета скоростей геодезических марок по данным GPS-наблюдений // Вестник КГУСТА. - Бишкек. - 2014. - № 6. - С. 10-15.

## **SEYSMOTEKTONIKA VA GEODINAMIKA**

УДК 550.34

**Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Юсупджанова У. А.**

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент, РУз, Olmasxon 29 @mail.ru*

### **СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УЗБЕКИСТАНА**

**Sodiqov Y.M., Nurmatov U.A., Yusupdjanova U.A.**

*O‘zRA G.O.Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti*

#### **O‘ZBEKISTON MARKAZIY QISMING SEYSMOTEKTONIK MODELI**

**Annotatsiya.** Maqolada kompleks geologo-geofizik va seysmologik ma’lumotlar asosida O‘zbekiston markaziy qismining neotektonik va seysmotektonik modeli keltirilgan. Ushbu model asosida sodir bo‘lishi mumkin bo‘lgan zilzilalar o‘chogidagi kinematik surilishning ehtimoliy turi baholangan.

**Kalit so‘zlar.** Tektonik harakat, struktura, Er yorigi, neotektonik harakat, zilzila, magnituda

**Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Юсупджанова У. А.**

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз,*

#### **СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УЗБЕКИСТАНА**

**Аннотация.** На основе анализа комплекса геолого-геофизических и сейсмологических данных представляются неотектоническая и сейсмотектоническая модели Центральной части Узбекистана. На основе предложенной модели оценивается вероятный кинематический тип подвижек в очаговых зонах возможных землетрясений.

**Ключевые слова.** Тектонические движения, структура, разлом, неотектонические движения, землетрясения, магнитуда.

**Sadykov Yu.M., Nurmatov U.A., Yusupdzhanova U. A.**

*Institute of Seismology Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

#### **SEYSMOTEKTONICS MODELS OF THE CENTRAL PART UZBEKISTAN**

Based on a comprehensive analysis of the results of geological-geophysical and seismological studies, neotectonic and seismotectonic models of the central part of Uzbekistan are proposed. These Annotation models are used to predict the probable kinematic type of movements in the focal zones of possible earthquakes.

**Key words:** neotectonics, seismotectonics, model, earthqu/

**Введение.** Основы методики научно-исследовательских и производственных работ при детальном сейсмическом районировании (ДСР) разработаны в 77-80 гг. прошлого века [1-5]. Периодически, в связи усовершенствованием изыскательских и исследовательских работ, накопления фактических геолого-геофизических и сейсмологических данных, для конкретных регионов вносились соответствующие коррективы и уточнения. Например, в Узбекистане, на примере Ташкентской области была разработана технология оценки сейсмической опасности на основе новых карт ДСР [6]. В настоящее время в комплексе исследований по ДСР ключевое место занимает сейсмотектонический анализ, завершающийся разработкой сейсмотектонической модели объекта исследований, которая является необходимой геолого-геофизической основой для выделения и характеристики возможных очаговых зон (ВОЗ) сильных землетрясений.

В предыдущих исследованиях по детальному сейсмическому районированию территории Западного и Южного Узбекистана [4] в основу модели источников сейсмических колебаний были заложены разломы земной коры, пространственное положение и морфология, большинство которых были выделены условно. Особенно это касалось территории Центральной и Западной части Узбекистана. В связи с накоплением в настоящее время новых данных по геологии, разломной тектонике, новейшим и современным движениям, сейсмичности и др. появилась возможность проанализировать эти материалы комплексно и внести необходимые коррективы на ранее существующие варианты сейсмотектонических моделей.

**Целью настоящих исследований** является создание неотектонической и сейсмотектонической моделей Центральной части Узбекистана.

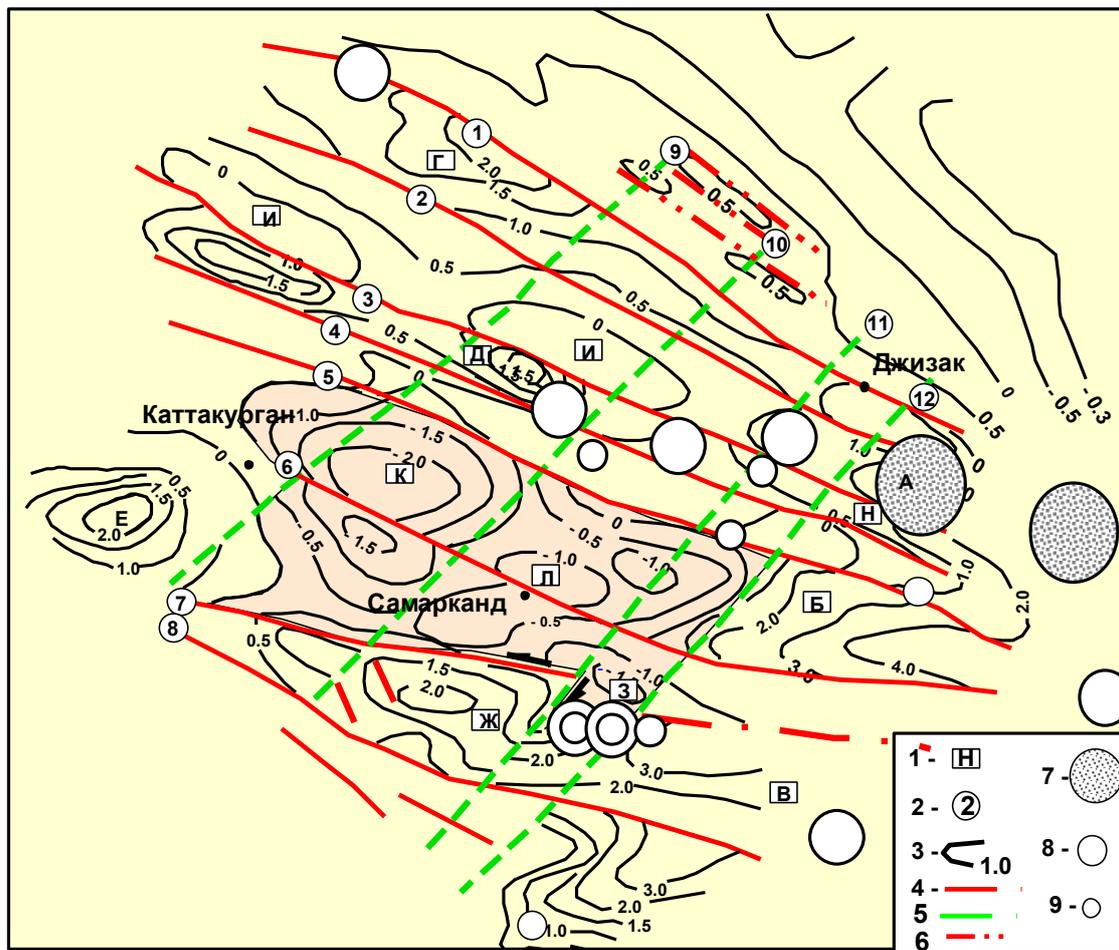
**Полученные результаты и их обсуждение.** При сейсмотектоническом анализе исследуемой территории нами были изучены материалы характеризующие глубинное строение [7-9], геофизические поля [9], нео- и современную тектонику [9], геодинамику [9-11], сейсмичность

[9,12-16] и др. Мировая практика работ по детальному сейсмическому районированию (ДСР) однозначно показала, что изучение новейших тектонических движений и структуры (неотектоника) являются одной из ключевых в процессе сеймотектонического анализа сейсмоопасных регионов. Новейшие тектонические движения (неотектоника), создавшие современный геоморфологический облик Центральной части Узбекистана, достаточно сложные. Для характеристики особенностей проявления новейшей тектоники была составлена одноименная модель (рис.1), где показаны основные элементы структуры (линейные и изометричные поднятия, межгорные впадины, активные разломы) и амплитуды их движений. За основу данной модели положена карта новейшей тектоники Республики Узбекистан, составленная в 1991 г. А.Ю.Плотницким, Ю.М.Садыковым и Р.Н.Ибрагимовым. Соответствующие коррективы и уточнения в данную карту были внесены позднее [17-19]. Согласно данной модели, новейшая структура Центральной части Узбекистана генетически связана с эпиплатформенным орогеном Южного Тянь-Шаня, являясь его запад-северо-западным погружением в Туранскую плиту. Неотектонические структуры, развитые здесь, представляют цепь вытянутых и изометричных горных сооружений, ступенчато погружающихся с востока на запад. В том же направлении наблюдается убывание амплитуд новейших тектонических движений, мощностей и размеров неоген-четвертичных отложений, интенсивности эрозийной расчлененности рельефа и его абсолютные высоты. На исследуемой территории отмечается западное окончание зоны Южно-Тянь-Шаньского эпиплатформенного орогена и неотектонические структуры Нуратау-Зирабулакской зоны. Южно-Тянь-Шаньская зона – наиболее крупная и сложно-построенная неотектоническая структура региона. Она состоит из сопряженных, вытянутых в субширотном направлении поднятий: Туркестанского (А), Зарафшанского (Б) и Гиссарского (В). В поперечном сечении неотектонические структуры Южного Тянь-Шаня имеют характер узких, сильно дислоцированных и дифференцированных крупно-амплитудными активными разломами, линейных блоков. В течение всего мезозоя и большей части палеогена здесь сохранялись условия тектонического спокойствия. Интенсивность тектонических движений резко повышается в предчетвертичное время. Усиление интенсивности вертикальных движений происходит в раннемплейстоцене. В последующие эпохи четвертичного периода скорость поднятия Южного Тянь-Шаня возрастала, составив в голоцене 0,88 см в год. Характерно, что высота современного рельефа Южного Тянь-Шаня хорошо коррелируется с амплитудами неоген-четвертичных вертикальных движений, что может свидетельствовать о конформности форм рельефа неотектоническим. Сейсмическая опасность Южно-Тянь-Шаньской зоны определяется подвижностью блоков, развитие которых контролируется краевыми и внутренними разломами, для которых характерны повышенные амплитуды неотектонических движений. Например, система краевого разлома ограничивающего зону с севера представлена субпаралельными разрывными нарушениями, контролирующими ступенчатое погружение северного крыла Туркестанского поднятия (А) в тело Ферганской впадины, где суммарный эффект неотектонических подвижек достигала 11000-12000 м. Анализ также показал синхронность неотектонических движений в Южно-Тянь-Шаньской и Нуратау-Зирабулакской зонах. Для Нуратау-Зирабулакской зоны это подтверждается также наличием на древних денудационных поверхностях четвертичных конгломератов.

**Неотектонические структуры.** На анализируемой территории в основном располагаются новейшие структуры Нуратау-Зирабулакской зоны поднятий и прогибов (рис.1). С севера на юг выделяются Северо-Нуратинское (Г), Южно-Нуратинское (Д), Зирабулакское (Е) и Каратепинское (Ж) поднятия и разделяющие их межгорные впадины и прогибы: Рават-Галляаральский прогиб (И); Санзарский прогиб (Н), Каттакурганская впадина (К), Самаркандская впадина (Л) и Пянджикентский прогиб (З). Вся Нуратау-Зирабулакская зона, в основном, укладывается в пространстве, ограниченной Северо-Нуратинским (1) и Южно-Зирабулак-Южно-Каратепе-Южно-Зарафшанским (8) разломами, одновременно разграничивающие зону от крупнейших впадин Туранской плиты - Сырдарьинской на севере и Амударьинской на юге.

**Северо-Нуратинское антиклинальное поднятие (Г)** отделено от Сырдарьинской впадины Туранской плиты одноименным разломом. В морфологическом отношении это ассиметричная, с более крутым северо-восточным крылом, линейно-вытянутая на 120 км, при ширине 20-30 км, структура. Поднятие состоит из Нуратинской и фактически ее юго-восточного продолжения Койташской антиклинальной складок. К юго-востоку Койташская антиклиналь

замыкается по антицедентной долине р.Санзар. Далее резко теряя свою прямолинейность, сочленяется с пологим крылом Мальгузарского поднятия.



**Условные обозначения:** 1 - буквенные обозначения положительных и отрицательных структур; 2 – порядковый номер разрывных нарушений; 3 – изолинии амплитуд новейших движений; 4 – северо-западная система разломов; 5 – северо-восточная система разломов; 6 - разломы, выявленные в кристаллическом основании краевой части Сырдарьинской впадины; 7 - эпицентры Уратепинских землетрясений; 8,9 - эпицентры землетрясений с  $M \geq 5.5$  и  $\geq 3.5$ ; **зона линейно-вытянутых блоковых поднятий Южного-Тянь-Шаня:** А-Туркестанская; Б-Зарафшанская; В – Гиссарская; **зона линейно-вытянутых Северо- и Южно-Нуратинских и изометричных Зирабулакского и Каратепинского поднятий:** Г - Северо-Нуратинская; Д – Южно-Нуратинская; Е – Зирабулакская; Ж - Каратепинская; **межгорные впадины и прогибы:** И - Рават-Галляларальская впадина; Н - Санзарский прогиб; К – Каттакурганская впадина; Л-Самаркандская впадина; З - Пенджикентский прогиб; **разрывные нарушения: Северо-западная система разломов:** 1 - Северо-Нуратинский; 2 - Южно-Нуратинский; 3 - Северо-Актау-Северо-Карачатау-Северо-Мальгузарский; 4 - Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарский; 5 - Каратау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанский; 6 - Южно-Каратау-Южно-Туркестанский; 7 - Северо-Зирабулак -Северо-Каратепе-Северо-Зарафшанский; 8 - Южно-Зирабулак-Южно-Каратепе-Южно-Зарафшанский; **северо-восточная система разломов:** 9 - Санганак-Ханбандытауский; 10 - Западно-Каратепе-Койташ-Писталитауский; 11 - Поперечно-Южно-Тянь-Шанский

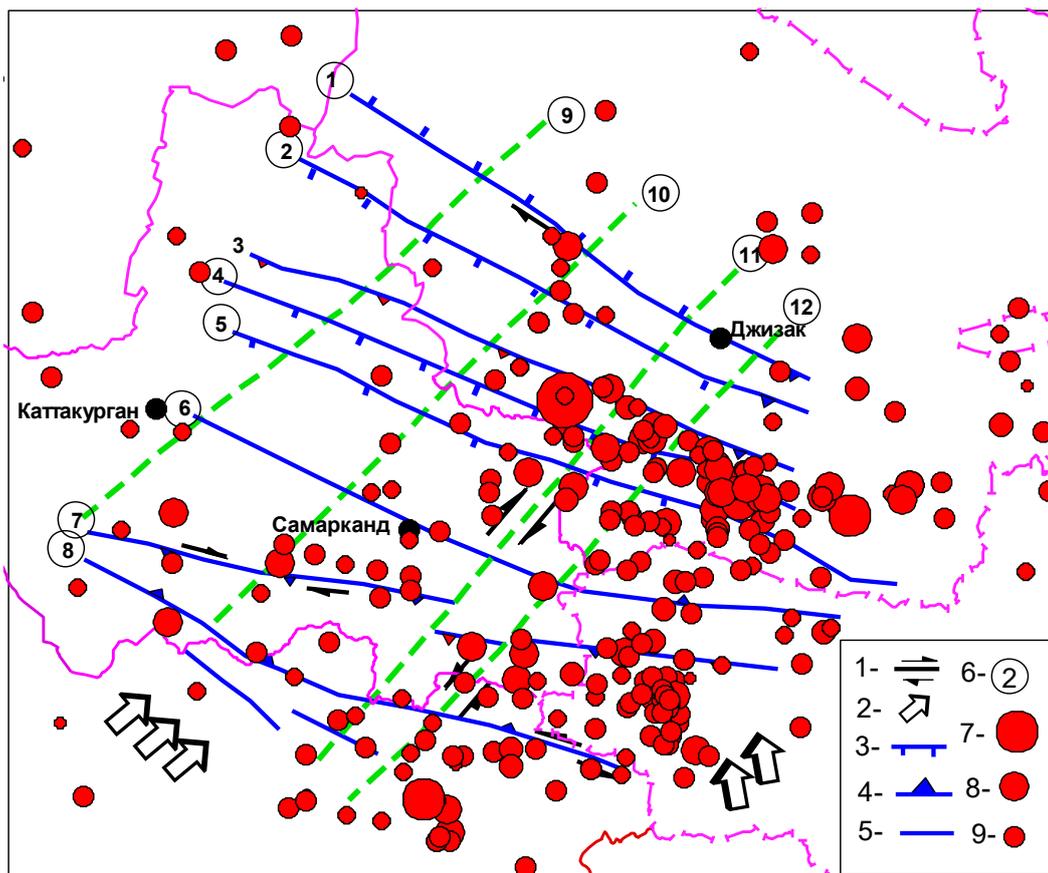
Рис.1. Модель новейшей тектоники Центральной части Узбекистана.

**Южно-Нуратинское антиклинальное поднятие (Д)** протягивается практически параллельно Северо-Нуратинскому. Западное окончание поднятия раздваивается, образуя две параллельные антиклинальные складки Актау и Каратау. К юго-востоку Актауская ветвь сочленяется с Карачатауским поднятием, образуя единую полосу и далее, после заметного понижения смыкается с осевой частью Мальгузарского поднятия. Эта полоса образована Северо-Актау–Северо-Карачатау-Северо-Мальгузарским (3) и Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарским (4) разломами. Последний разлом (4) совместно с Каратау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанским разломом (5) образует полосу, где развиваются складки

Каратау и Гобдунтау. В отличие от Каратауской складки, линейно вытянутой на 75 км складка Гобдунтау имеет в плане эллиптическую форму, длинная ось которой немногим более 30 км. Оба складкам характерно резкое погружение шарнира в периклинальных частях. В южной части, в полосе образуемой Северо-Зирабулак-Северо-Каратепе-Северо-Зарафшанским (7) и Южно-Зирабулак-Южно-Каратепе-Южно-Зарафшанским (8) разломами, расположены Зирабулакское (Е) и Каратепинское (Ж) поднятия. Непосредственным продолжением Зарафшанского поднятия на западе является Каратепинское. Между ними существует небольшое понижение с амплитудой не менее 500 м. Оно интересно также тем, что здесь проходит разлом северо-восточного простирания, выраженный зоной дробления в палеозойских отложениях. Каратепинское поднятие имеет изометричную форму с переклиналию, обращенную в сторону Зирабулакского поднятия. Последнее в плане имеет треугольную форму, закругленную в угловых частях, причем острые углы обращены на запад-северо-запад и на северо-восток.

**Рават-Галляаральская впадина (И)** разделяет Северо- и Южно-Нуратинское поднятия. Она с северо-востока и юго-запада ограничена разломами, по которым контактирует со смежными поднятиями. Морфологически - это ассиметричная впадина с крутым юго-западным крылом. Амплитуда новейших прогибаний в пределах нескольких десятков метров. Судя по амплитудным характеристикам, юго-западный борт развивался значительно интенсивнее, чем северо-восточный. А.А.Юрьев [20] рассматривал данную впадину отдельно, западную часть как Хайрабадскую, а восточную как Галляаральскую. Вся межгорную часть между Южно-Нуратинским и Мальгузарским поднятиями на севере, западной частью Туркестанского, Зарафшанского, Гиссарского поднятий на востоке и Зирабулакским и Каратепинским поднятиями на юге занимает **Зарафшанская** крупная межгорная впадина, заполненная мезо-кайнозойскими отложениями. По [21] это Самаркандская мегасинклиналь, а по [22] Каттакурганская грабен-синклиналь. Проведенный нами неотектонический анализ позволил более детально рассмотреть структуру данной межгорной впадины. Впадина рассечена системой северо-западных разломов на протяженные полосы, которые определяют ступенчатое погружение мезозойско-кайнозойских отложений к центру. Внутренняя структура этих впадин заметно отличаются друг от друга. Наиболее прогнутой является Каттакурганская впадина, расположенная южнее Южно-Нуратинского поднятия, где амплитуда новейших прогибаний превышает 2000 м. К северо-востоку от нее располагается Санзарский прогиб (Н), а к востоку Самаркандская впадина (Л). Амплитуда новейших прогибаний здесь заметно уступает Каттакурганской и варьирует в пределах -500-1000 м. На севере эти впадины по Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарскому разлому (4) контактируют с Южно-Нуратинским поднятием (Д). Южно-Каратау-Южно-Туркестанский разлом (6) разделяет вышеописанные впадины на две части, отличающиеся как площадными размерами, так и по глубине прогибания. К юго-востоку от Самаркандской впадины расположен Пянжикентский прогиб (З), который с юга контактирует по разлому с Зарафшанским поднятием. Естественной границей прогиба на западе служит Каратепинское поднятие, а на северо-востоке южные отроги Туркестанского поднятия. На северо-западе сливается с Самаркандской впадиной. Амплитуда неотектонического опускания в Пянжикентском прогибе превышает 1500 м.

**Разрывные нарушения.** Практически все анализируемые разломы установлены предыдущими геолого-съёмочными работами, комплексом геофизических и дистанционных наблюдений. Наша задача заключалась в выделении среди них потенциально сейсмоопасных. Как показал неотектонический и сеймотектонический анализ, основные черты разломной неотектоники исследуемой территории определяется соотношением северо-западных и северо-восточных направлений, при преимущественной роли первых. Разломы северо-восточной ориентации носят сравнительно скрытый характер и выделяются в основном по комплексу геофизических материалов. Но отдельные их отрезки четко дешифрируются на материалах аэрокосмической съёмки. Как можно наблюдать на рис.1, замыкание положительных и отрицательных структур, в большинстве случаев, происходит в зоне разломов северо-восточной ориентации. Смещения неотектонических структур, относительно друг друга, резкое погружение шарниров положительных структур в их периклинальных частях также происходит в зоне этих разломов. Сеймотектонический анализ показал, что эти факты, хотя и косвенно, могут свидетельствовать о значении их при построении сеймотектонической модели анализируемой территории.



Условные обозначения: 1 - сдвиги; 2 - направление стрессовых напряжений; 3 - сбросы (бергштрихи в сторону падения сместителя); 4 - взброс; 5 - разломы с невыясненным направлением смещения. Разрывные нарушения. Северо-западная система разломов: 1 - Северо-Нуратинский; 2 - Южно-Нуратинский; 3 - Северо-Актау-Северо Карачатау–Северо-Мальгузарский; 4 - Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарский; 5 - Каратау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанский; 6 - Южно-Каратау-Южно-Туркестанский; 7 - Северо-Зирабулак-Северо-Каратепе-Северо-Зарафшанский; 8 - Южно-Зирабулак-Южно-Каратепе-Южно-Зарфшанский; 9 - Северо-восточная система разломов: 1 - Санганак-Ханбандытауский; 2 - Западно-Каратепе-Койташ-Писталитауский; 3 - Поперечно-Южно-Тянь-Шанский

Рис.2. Сейсмотектоническая модель Центральной части Узбекистана.

Разломы северо-западной ориентации установлены геолого-съёмочными работами. Их современная активность подтверждается морфологической выраженностью и уверенным трассированием на материалах топографической и аэрокосмических съёмок и эпицентрами землетрясений тяготеющих к зоне разломов. Здесь необходимо отметить, что выделенные в Нуратау-Зирабулакской зоне поднятий и прогибов разломы служат природными границами положительно и отрицательно развивающихся неотектонических структур. Однозначно, все разломы северо-западного простирания, исследуемой территории, являются прямым продолжением краевых и внутренних разломов Южного Тянь-Шаня, который включает Туркестанское, Зеравшанское и Гиссарское поднятия более высокого ранга. Этот регион рассматривается как область устойчивых новейших и современных поднятий, сейсмический потенциал которых обоснован современными сильными землетрясениями и деформациями горного рельефа возникших в результате сильнейших до исторических землетрясений. В морфологическом отношении разломы Южного Тянь-Шаня представлены крутыми взбросами и взбросо-надвигами. Амплитуда внутренних разломов достигает 1000-2000 м, что намного уступает системе краевых (11000-12000 м).

#### **Северо-западная система разломов.**

*Северо-Нуратинский сбросо-сдвиг* (1) образует систему субпаралельных разрывов ограничивающих одноименное поднятие с северо-востока (рис.2). Она составляет часть регионального Бесапан-Нуратау-Южно-Ферганского разлома. Южно-Ферганская часть,

являющаяся восточным продолжением описываемого разлома, отнесена к категории сейсмогенных, где вероятны землетрясения с  $M=6,5$ . Морфологически Южно-Ферганская часть представляет крутой взброс ( $60^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ). Размах неотектонических движений не менее 11000 м. В этом отношении Северо-Нуратинский разлом намного уступает, где амплитуда неотектонических движений достигает 2500 м.

*Южно-Нуратинский разлом (2)* ограничивает с юго-запада более пологое крыло Северо-Нуратинского поднятия, входит в систему Нуратау-Катранского разлома. По этому разлому Южно-Нуратинское поднятие контактирует с Рават-Галляаральской впадиной. Амплитудные характеристики западной и восточных частей разлома несколько превалируют над средней частью.

*Северо-Актау-Северо-Карачатау-Северо-Мальгузарский разлом (3)* следует по северо-восточным крыльям поднятий Актау и Карачатау, по северному крылу Мальгузарского поднятия, вблизи перевала Ташакурбель и высотных отметок 2620 м, 2412 м. Неотектонические движения более интенсивные, чем у предыдущего разлома (1000 м-1500 м).

*Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарский разлом (4)* прослежен по южному крылу Южно-Актауского поднятия, по южному предгорью Карачатау, по северному предгорью Гобдунтау и южному предгорью Мальгузарского поднятий. По разлому контактируют Южно-Нуратинское поднятие и Самаркандская впадина. Амплитуда неотектонических подвижек варьирует в пределах 500 м - 1500 м.

*Каратау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанский разлом (5)* следует по южным отрогам Каратау и Гобдунтау, далее по зоне слияния Западной части Туркестанского и Санзарского прогиба. Этот разлом осложняет северную, более пологую часть Зарафшанской впадины, отделяя Санзарский прогиб от остальной части впадины.

*Южно-Каратау-Южно-Туркестанский разлом (6)* разделяет Каттакурганскую и Самаркандскую впадины на две не равномерны части, более прогнутую северную и менее прогнутую южную. Разлом следует по геоморфологическим признакам, четко дешифрируется на материалах аэрокосмической съемки. Интенсивность подвижек по разлому повышается в восточном направлении.

*Северо-Зирабулак-Северо-Каратепе-Северо-Зарафшанский разлом (7)* прослеживается по северным отрогам Зирабулакского, Каратепинского поднятий. К востоку осложняет северное крыло Зарафшанского поднятия. Разлом является зоной контакта Каттакурганской, Самаркандской впадин и Пянджикентского прогиба и Зирабулакского и Каратепинского и западной части Зарафшанского поднятий.

*Южно-Зирабулак-Южно-Каратепе-Южно-Зарафшанский (8) разлом* следует по южным крыльям Зирабулакского, Каратепинского и Зарафшанского поднятий. Далее на востоке вливается в зону Главного Гиссарского разлома.

#### **Северо-восточная система разломов.**

В эту зону входят *Саганак-Хонбандинский (9), Западно-Каратепе-Койташ-Писталитауский (10) и Поперечно-Южно-Тянь-Шаньский (11 и 12)* разломы. Эти разломы выделены по материалам геофизики и аэрокосмической съемки. Их роль в формировании неотектонической структуры очевидна. Такие признаки как: замыкание положительных и отрицательных структур вблизи разломов; смещение продольных осей структур тяготеющих к зоне разломов; резкое погружение шарниров складок в переклиальных частях; разделение структур на участки, отличающихся значениями амплитуд неотектонических движений, как уже отмечалось, заставляют рассматривать разломы северо-восточной ориентации, как важный элемент неотектонической и сейсмоструктурной структуры исследуемой территории и должны быть учтены при оценке сейсмической опасности.

**Особенности проявления сейсмичности.** Начиная с исторических времен по настоящее время, в пределах данной части республики, возник ряд землетрясений с  $M \geq 4.5$  и четыре землетрясения с  $M \geq 6.0$  (рис.1 и 2). Все они происходили в восточной части исследуемой территории. Привлекает внимание то, что большая часть этих землетрясений произошли в историческое время. Одним из самым древним считается землетрясение возникшее в 1799 г. с  $M=6.0$  [22] недалеко от г. Самарканда. Следующие сильные землетрясения возникали в 1897 г. с  $M=6.6$  и 6.7. Хотя достоверность параметров этих землетрясений не очень высокая, тем не менее, сам факт возникновения землетрясений позволяет сделать определенные выводы относительно

сейсмической опасности территории в историческое время. Кроме вышеприведенных, в 1935 г. на расстоянии 90 км от Самарканда возникло землетрясение с  $M=5.3$ . Последнее сильное землетрясение в пределах Центральной части Узбекистана возникало в 2013 г. с  $M=6.3$  вблизи пос. Маржанбулак. Землетрясение возникло в зоне динамического влияния Северо-Актау-Северо-Карачатау-Северо-Мальгузарского разлома (рис.1). На рис.2 показаны эпицентры землетрясений, происшедших в пределах Центральной части Узбекистана за период 2010-2018 гг. Основная часть происшедших землетрясений имеет силу  $M \leq 4.5$ . Только лишь три землетрясения имели силу  $M \geq 5.0$ . Самое сильное из них, как было отмечено выше, Маржанбулакское имело силу  $M=6.3$ . Как видно на рис.2, большая часть слабых и умеренных землетрясений, также как исторические сильные, в основном приурочены восточной части исследуемой территории. Наблюдается также тенденция концентрации слабой сейсмичности в зонах Северо-Актау-Северо-Карачатау-Северо-Мальгузарского, Южно-Актау-Южно-Карачатау-Северо-Гобдунтау-Южно-Мальгузарского и Каратау-Южно-Гобдунтау-Северо-Туркестанского разломов.

**Сеймотектоническая модель.** Согласно неотектонической модели, новейшая структура Центральной части Узбекистана генетически связана с эпиплатформенным орогеном Южного Тянь-Шаня, являясь его запад-северо-западным погружением в Туранскую плиту. Неотектонические структуры, развитые здесь, представляют цепь вытянутых и изометричных горных сооружений, ступенчато погружающихся с востока на запад. В том же направлении наблюдается убывание амплитуд новейших тектонических движений, мощностей и размеров неоген-четвертичных отложений, интенсивности эрозионной расчлененности рельефа и его абсолютные высоты. Наблюдается синхронность неотектонических движений в Южно-Тянь-Шаньской и Нуратау-Зирабулакской зонах. Основные черты разломной неотектоники Нуратау-Зирабулакской зоны определяется соотношением северо-западных и северо-восточных направлений, при преимущественной роли первых. При этом все разломы северо-западного простирания являются прямым продолжением краевых и внутренних разломов Южно-Тянь-Шаньской зоны. В зоне поперечно Южно-Тянь-Шаньских разломов происходит изменение простирания субширотных краевых и внутренних разломов Южно-Тянь-Шаньской зоны на северо-западное, характерное для Нуратау-Зирабулакской зоны. Происходит поворот неотектонических структур на  $40^{\circ}$ - $45^{\circ}$ . Тем самым создается напряженная зона, о современной активности которой свидетельствуют многочисленные эпицентры слабых землетрясений, локализующихся в зонах динамического влияния разломов.

**Заключение.** Сеймотектонический анализ неотектонической структуры исследуемой территории в комплексе с материалами предыдущих тематических геологических, геофизических, геоморфологических, сейсмологических и др. исследований, включая материалы космической геодезии, дают возможность предложить следующую модель сеймотектоники Центрального Узбекистана:

1. Практически все неотектонические структуры, как положительные, так и отрицательные, единообразно сплющены, длинная ось которых имеет северо-западную ориентацию. Можно предположить, что наиболее вероятным направлением стрессовых напряжений сформировавших неотектонические структуры, является северо-восточное. Для субширотных неотектонических структур Южно-Тянь-Шаньского постплатформенного орогена, стрессовые напряжения имеют субмеридиональное направление.

2. Наличие горизонтальных подвижек в разломах северо-западной и северо-восточной ориентаций, результаты дешифрирования материалов аэрокосмической съемки, осуществленный сеймотектонический анализ свидетельствуют об одновременном действии стрессовых напряжений обеих направлений упомянутых в п.1.

3. Морфологический облик Южно-Тянь-Шаньской и Нуратау-Зирабулакской неотектонических зон, их амплитудные характеристики и особенности проявления сейсмичности позволяют утверждать о резком превалировании стрессовых напряжений субширотной ориентации над северо-восточным.

4. При такой сеймотектонической модели наиболее вероятным кинематическим типом подвижек в очаговых зонах землетрясений могут быть взбросы и взбросо-сдвиги.

## Литература

1. Аптикаев Ф.Ф., Нерсесов И.Л. Задачи детального сейсмического районирования. Тр. Всесоюзного Семинара «Сейсмическое микрорайонирование в инженерных изысканиях для строительства», М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1979, с. 20-21.
2. Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980, 176 с.
3. Детальное сейсмическое районирование в горных областях. Фрунзе: Илим, 1983, 198 с.
4. Мавлянов Г.А. и др. Детальное сейсмическое районирование территории Западного и Южного Узбекистана. Ташкент: ФАН, 1983, 15 с. (Инф. Сообщ. № 296).
5. Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию (проект). Под ред. Ф.Ф.Аптикаева и В.И. Кнауфа. Детальные инженерно-сейсмологические исследования. М.: Наука, 1986 (Вопр. инж. сейсмологии, вып.27).
6. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.А. Технология оценки сейсмической опасности на основе новых карт детального сейсмического районирования (ДСР). Сб. Проблемы сейсмологии в Узбекистане – Ташкент, ИС АН РУз, № 9, 2012, С. 65-69.
7. Земная кора Узбекистана. - Ташкент: Фан УзССР, 1974, 287 с.
8. Фузайлов И.А. Структура консолидированной коры западного погружения Тянь-Шаня. Ташкент: Фан УзССР, 1977. 144 с.
9. Геология и полезные ископаемые Республики Узбекистан, часть.4. Геофизические поля, Глубинное строение земной коры и мантии, сейсмичность и современные движения. Ташкент: Изд-во «Университет». 1998. С.369-459.
10. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М: Научный Мир, 2005. 399 с.
11. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: Геодинамика в кайнозое. М: ГЕОС, 2012, 188 с.
12. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент: Полимерика, 2012. - 254 с.
13. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Исследование погрешностей современных карт сейсмического районирования (на примере территории Восточного Узбекистана), Москва. Геориск. №1. 2017. С. 36-44.
14. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Кучкаров К.И., Мирзаев М.А. Количественные характеристики сейсмической опасности территории Узбекистана в максимальных значениях скоростей колебаний грунта и в их спектральных амплитудах // Геодинамика и тектонофизика. – Иркутск, Россия, 2018. т. 9. № 4. С.1173–1188.
15. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Закономерности проявления последовательных сильных землетрясений в пределах сейсмоактивных зон Узбекистана // Доклады Академии наук РУз. Ташкент, 2015. №3. С. 38-40
16. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Связь периодов сейсмической активизации в сейсмоактивных зонах Узбекистана с возникновением сильнейших землетрясений в Центральной Азии// Геориск, Том XIII, № 1, 2019. С. 58–70, <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2019-13-1-58-70>
17. Ибрагимов Р.Н. и др. Сейсмотектонические условия возникновения Газлийских землетрясений. В сб. Газлийские землетрясения 1976 и 1984гг. Изд-во ФАН Узбекской ССР, 1986 г. С. 18-28.
18. Садыков Ю.М., Денисов Р.И. Неотектоника Арало-Устюртского региона Узбекистана. Геология и перспективы нефтегазоносности Узбекистана. Ташкент, ИГИРНИГМ, 2000. С.78-84.
19. Троицкий В.И., Садыков Ю.М., Денисов Р.И. К карте новейших тектонических движений Узбекистана. Сб. Проблемы сейсмологии в Узбекистане, №7, том 2, ИС АН Республики Узбекистан, 2010. С.241-244.
20. Юрьев А.А. К неотектонике западного окончания Туркестано-Зерафшанской горной системы. В кн. Тектонические движения и новейшие структуры земной коры, М., Изд-во Недр, 1967. С.121-125.
21. Давлятов Ш.Д. Тектоника нефтегазоносных районов Западного Узбекистана, Ташкент, Изд-во ФАН, 1971. С.3-46.
22. Бабаев А.Г., Надыршин Р.И. Мезо-Кайнозойский этап. В кн. «Геология СССР» том XX111, Узбекская ССР, кн.2. С.325-346.
23. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В. (отв. ред.). Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г., часть Ш. Средняя Азия и Казахстан. М.: Наука, 1977. С.198-296.

## **MUHANDISLIK SEISMOLOGIYASI**

УДК 624.131.1+550.343.3

**Исмаилов В.А.**

*Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз, г.Ташкент, Республика Узбекистан, [yakhit.mbm@mail.ru](mailto:yakhit.mbm@mail.ru)*

### **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ**

**Ismailov V.A.**

*O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G'.O.Mavlonov nomidagi Seismologiya instituti*

#### **SHAHAR HUDUDIDA SEYSMIK RISKNI MIQDORIY BAHOLASHNING ILMIY-METODIK ASOSLARI**

**Annotatsiya.** Maqolada seysmik riskni baholashning metodik jihatlari muhokama qilingan bo'lib, unda tadqiqotlarni uch blokda olib borish belgilangan: manbani tadqiq qilish, ta'sirni baholash va oqibatni hisoblash. Ushbu metodika Jizzah shahar misolida seysmik risk test sinovdan o'tkasilgan. Geologik va seysmologik ma'lumotlar tahliliga asosan ssenariya zilzilasi tanlandi. Jizzah shahar hududida grunt sharoitiga ko'ra 6,7 va 8 ballik seysmik zonalararga ajratilgan. Ssenariya zilzilasi ta'sirida shahar hududida ehtimoli yuqori bo'gan seysmik jadallik xaritasi tuzilgan. Shaharda qurilgan barcha binolarning konstruktiv turlari, qavatligi, qurilgan yili va vazifasi kadastr va anketa ma'lumotlaridan aniqlangan. Binolarning shikastlanish darajasi va uning funksiyasi BMTning «1999-2001-yillari Seysmik xavfsizlik global tashabbusi» loyihasi doirasida yaratilgan GESI\_Program dasturidan foydalangan holda aniqlangan. Ssenariya zilzilasi ta'sirida yuzaga keladigan ehtimoliy talafot binolar shikastlanish darajasiga bog'liq holda kadastr qiymati bo'yicha baholangan.

**Tayanch so'zlar:** zilzila, seysmik zaiflik, shikastlanish, mustahkamlik, spektral nisbat, zaiflik funksiyasi, kuchlanish koeffitsienti, ustunlik davri.

**Исмаилов В.А.**

*Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН Руз*

#### **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены методические вопросы оценки сейсмического риска, которые обобщены в три блока исследований: блок источника, блок воздействия и блок последствий. На примере г. Джизака проведена тестовая оценка сейсмического риска. На основании анализа геологических и сейсмологических данных выбрано сценарное землетрясение. С учетом грунтовых условий на территории города выделены зоны с сейсмической интенсивностью 6, 7 и 8 баллов. Составлена карта оценки сейсмической интенсивности от сценарного землетрясения. Данные о конструктивных типах, этажности, возрасте и назначении зданий установлены методом анкетирования и по кадастровым данным. Используя GESI\_Program, разработанную в рамках проекта ООН «Глобальная инициатива по сейсмической безопасности в 1999-2001 годах», определена повреждаемость различных типов зданий и построена функция уязвимости для конкретных типов сооружений. В зависимости от степени повреждаемости зданий, при воздействии сценарного землетрясения рассчитан возможный прямой ущерб в процентах от кадастровой стоимости зданий.

**Ключевые слова:** землетрясения, сейсмическая уязвимость, повреждаемость, устойчивость, спектральные отношения, функция уязвимости, коэффициент усиления, преобладающий период.

**Ismailov V.A.**

*Institute Seismology Academy of the Republic of Uzbekistan*

#### **SCIENTIFIC AND METHODOICAL BASIS OF QUANTITATIVE ASSESSMENT SEISMIC RISK IN THE TERRITORY OF CITIES**

**Annotation.** The article discusses the methodological issues of seismic risk assessment, which are summarized in three research blocks: source block, impact block and consequence block. On the example of Jizzakh, a test assessment of seismic risk was carried out. Based on the analysis of geological and seismological data, a scenario earthquake was selected. Taking into account the soil conditions in the city, zones with seismic intensities of 6, 7 and 8 points are allocated. A map of seismic intensity estimates from a scenario earthquake has been compiled. Data on the structural types, number of storeys, age and purpose of buildings are established by the questionnaire method and cadastral data. Using the GESI\_Program, developed as part of the UN Global Seismic Safety Initiative Project 1999-2001, the damageability of various types of buildings was determined and a

vulnerability function was constructed for specific types of structures. Depending on the degree of damage to buildings under the influence of a scenario earthquake, the possible direct damage is calculated as a percentage of the cadastral value of buildings.

**Keywords:** earthquakes, seismic vulnerability, damageability, stability, spectral relations, vulnerability function, gain, prevailing period.

**Введение.** В настоящее время имеется принципиальная возможность долгосрочной прогнозной оценки последствий сильного землетрясения. В частности, возможен прогноз сейсмической опасности определенных территорий и реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия и, следовательно, прогноз состояния урбанизированной территории после землетрясения. На основе такого прогноза, в свою очередь, возможна разработка мер по смягчению последствий землетрясения, а также обоснование планировочных решений при освоении новых сейсмоопасных территорий. В этом аспекте оценка и районирование сейсмического риска урбанизированных территорий выглядит весьма актуальной задачей. В соответствии с формулировкой, введенной UNDR0, *сейсмический риск* - вероятность социально-экономического ущерба от возможных землетрясений в соответствии с расчетной сейсмической опасностью территории и уязвимостью строительных и природных объектов (тип зданий и инфраструктур, качество строительных объектов, плотность населения, оползни, сели, экология, и т.д.).

По современным представлениям, сейсмический риск является комплексной величиной, отражающей по возможности все многообразие вероятных проявлений сильного землетрясения, вплоть до отдаленных по времени экономических, экологических и социальных последствий. Немаловажная роль при этом отводится оценке возможной энергии очага, его местоположению и интенсивности сотрясений в различных грунтовых условиях, поскольку именно сейсмические колебания оказывают первичное воздействие, влекущее за собой все те эффекты, которые принято считать последствиями землетрясения.

Урбанизированные территории в Республике Узбекистан (особенно в центральной и восточной частях) расположены в опасной близости к сейсмически активным зонам и в полной мере подвержены ощутимым сейсмическим воздействиям. Это такие крупные города, как Ташкент, Андижан, Наманган, Фергана, Самарканд, Джизак и др. По историческим и инструментальным данным в этих городах зафиксированы проявления землетрясений, вызывавшие сотрясения в 7, 8 и 9-баллов по шкале MSK-64. Следовательно, для этих городов высока вероятность повторения подобных событий и в будущем. Являясь крупными областными центрами, они достаточно интенсивно развиваются и, соответственно, растет количество населения, стоимость объектов и фондов, находящихся в зоне возможного сейсмического воздействия землетрясений большой интенсивности. Учитывая это, проблема оценки сейсмического риска для этих городов, как, впрочем, и для других населенных пунктов Узбекистана, становится одной из насущных для обеспечения устойчивого и гармоничного развития региона.

**Теоретический анализ.** Теоретические аспекты оценки сейсмического риска рассмотрены многими исследователями, которые на основе учета всей совокупности факторов - сейсмическая опасность, уязвимость застройки, сейсмический риск, разработали методики оценки и прогноза сейсмического риска [1,2,3]. Согласно общепринятой концепции, В.И.Осиповым и др. [4] сейсмический риск определяется как суперпозиция сейсмической опасности и уязвимости различных элементов риска (люди, инженерные сооружения гражданского и промышленного назначения, линии жизнеобеспечения, другие составляющие инфраструктуры, экономическая и коммерческая деятельность и т.д.).

Городская застройка – ограниченная территория, которая фактически уже застроена жилыми культурно-бытовыми, промышленными, административными, религиозными и иными строениями либо сооружениями, в т. ч. и инженерной инфраструктурой, и иными объектами. К ним относятся населенные пункты, отдельные части городских территорий и в целом городские территории.

Целью оценки сейсмического риска городской застройки является прогноз ущерба образования на городских территориях от сценарного землетрясения на основе количественной оценки уровня сейсмического воздействия с учетом реальных грунтовых условий, оценки уязвимости застройки и возможного прямого ущерба на локальных участках для

разработки превентивных мероприятий по обеспечению и контролю нормативной надежности и созданию устойчивой сейсмобезопасной градостроительной системы.

Методологические аспекты разработки инженерно-сейсмологической основы для оценки сейсмического риска на территории городов приведены на рисунке 1.

Методические подходы при оценке сейсмического риска. При оценке сейсмической опасности используются в основном два подхода: детерминистический и вероятностный. Вероятный подход основывается на рассмотрении сейсмической опасности в отдельной точке от совокупности моделей сейсмических источников, с учетом оценки в них периодов повторяемости землетрясений различного энергетического уровня и особенностей затухания сильных движений с расстоянием, а также явных и случайных неопределенностей входных параметров, используемых при вероятностной оценке сейсмической опасности.



Рис.1. Методология разработки инженерно-сейсмологических основ для оценки сейсмического риска на городских территориях.

В детерминистическом подходе оценка сейсмической опасности основывается на рассмотрении конкретного сценария при сейсмическом воздействии от выбранного (сценарного) землетрясения определенной силы, произошедшего в определенном месте. При оценке сейсмического риска вероятностные подходы с описанием опасности в отдельной точке двумя или тремя параметрами не обеспечивают необходимой информацией, когда требуются более детальные прогнозы для конкретной площадки (точки), например, прогноз движения грунта или развития сейсродинамических процессов на поверхности грунтов. В этих случаях при оценке сейсмической опасности эффективно применять детерминистический подход, который в последние годы активно развивается и получил свое новое название как

“неодетерминистический” или подход, основанный на “сценарном землетрясении”. Он позволяет рассматривать сейсмологические ситуации с позиции оценки проявления сейсмических воздействий от потенциальных очаговых зон.

В процессе оценки сейсмической опасности от сценарного события можно выделить ряд условий, в значительной степени влияющих как на характер пространственного распределения уровня сейсмической опасности, так и на его фактические численные значения.

К этим условиям относятся [5]:

1. Уровень фоновой сейсмичности, которая принимается равным значению, взятому по карте общего сейсмического районирования (ОСР-2011). В том случае, если на территории исследований проводились работы по детальному сейсмическому районированию (ДСР), уровень фоновой сейсмичности принимается равным уточненному.

2. Параметры сейсмического события, к которым относятся: магнитуда, глубина гипоцентра, координаты эпицентра. На этапе ДСР выделяются и характеризуются очаги землетрясений, что позволяет уточнить параметры сценарного события. В случае если работы по ДСР на исследуемой территории не проводились, сценарное событие выбирается из каталога землетрясений и карт очагов сильных землетрясения.

3. Закон затухания сейсмической интенсивности, который для конкретной территории является одним из результатов работ по ДСР. В том случае, если работы по ДСР на территории не проводились, в качестве закона затухания используется региональные формулы, в частности для Узбекистана такая формула получена Т.У.Артиковым и Р.С.Ибрагимовым на основе статистического анализа записей сейсмических колебаний и макросейсмических данных [6].

В формировании поля сейсмических движений на поверхности земли наряду с очаговыми факторами, определяющими путь распространения сейсмических волн в поглощающей и рассеивающей геологической среде, важную роль играют локальные грунтовые условия, которые в ряде случаев являлись основной причиной повреждения зданий и сооружений. Реакция рыхлой грунтовой толщи на сейсмические колебания определяется как физико-механическими и сейсмическими свойствами грунта и геометрией залегания грунтовых слоев, так и интенсивностью воздействий.

На исследуемых точках абсолютные величины сейсмической интенсивности от сценарного события определяются путем прибавления к расчетным значениям сейсмической интенсивности от сценарного события для средних грунтов значений приращения интенсивности с учетом грунтовых условий. Подобные данные содержатся в картах сейсмического микрорайонирования (СМР), которые составляются на основе инженерно-геологических, инструментально-сейсмометрических, сейсморазведочных и теоретико-расчетных методов. В том случае, если работы по СМР на территории города не проводились, для оценки сейсмической интенсивности и составления карты ее распределения на территории города при сценарном землетрясении используются данные о категории грунта, определяемые по строительным нормам.

Процесс оценки сейсмической уязвимости зданий, в первую очередь, связан с определением состояния различных конструктивных элементов зданий, расположенных на территории города. Оценка состояния конструктивных элементов зданий базируется на данных паспортизации, т.е. на сборе данных о сейсмонадежности застройки с учетом сейсмичности строительной площадки и натурных инструментально-сейсмометрических исследований динамических характеристик зданий. Из огромной застройки, детальное изучение состояния сейсмостойкости и определение класса конструктивной уязвимости зданий, выполняются обычно для весьма ограниченной совокупности специально выбранных строений, в зависимости от особенностей их конструктивных элементов. Сейсмическая надежность оставшегося массива зданий определяется на основе этих базовых оценок с помощью метода экспертно-логических или сравнительных оценок [7]. В целом, сейсмическая надежность зданий и сооружений определяется 2-мя характеристиками:

- категорией конструктивной уязвимости здания (сооружения);
- уровнем сейсмостойкости здания (сооружения).

Уровень сейсмостойкости чаще используется для решения вопросов сейсмоусиления существующей застройки, а категория уязвимости нужна для анализа сейсмического риска. При этом для определения категорий уязвимости сейсмостойких зданий также необходимо классифицировать зданий по уровню сейсмостойкости [4].

Конструктивная уязвимость, как свойство строительного сооружения реагировать на сейсмические воздействия, является ключевой характеристикой надежности и безопасности этого сооружения и во многом определяет реальные последствия от землетрясений. Согласно Европейской Макросейсмической Шкале (EMS-98), конструктивная уязвимость измеряется 6-ю классами.

Ущерб, причиняемый строительным сооружениям землетрясениями, описывается (квалифицируются) степенью конструктивных повреждений, измеряемой от 0 до 5 (от незаметных до полного обрушения). С учетом вероятностного распределения повреждаемости зданий одного класса уязвимости дополнительно оперируют разными количественными выборками, называя их «отдельные», «некоторые», «многие», «большинство» и др.

Переход от класса конструктивной уязвимости к вероятному конструктивному ущербу производится на основании отношений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1. Соотношения классов конструктивной уязвимости и вероятного конструктивного ущерба

КОНСТРУКТИВНЫЙ УЩЕРБ(%)	УРОВНИ УЯЗВИМОСТИ					
	LM	M	MH	H	VH	F
ДИАПАЗОН ЗНАЧЕНИЙ	3-10	10-35	35-60	0-80	80-100	100%
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	5	20	50	75	100	100%
СТЕПЕНЬ ПОВРЕЖДЕНИЯ	1	2-3	3-4	4-5	5	
КЛАСС УЯЗВИМОСТИ ПО ШКАЛЕ EMS 98	F	E	D	C	B	A

Повреждаемость зданий – это способность зданий повреждаться под действием внешних и внутренних воздействий, что является прямым показателем сейсмической уязвимости здания. Для оценки повреждаемости конкретных конструктивных типов зданий разработана программа «GESI\_Program», которая основана на результатах макросейсмических исследований сильных землетрясений. Данная программа разработана в рамках пилотного проекта Организации Объединенных Наций «Глобальная инициатива по сейсмической безопасности» (Global Earthquake Safety Initiative (GESI) Pilo Project) в 1999-2001 годах. Программа состоит из пяти комплексов входных параметров, которые характеризуют тип строения, конструктивные особенности, качество строительства, качество строительного материала и уровень сейсмического воздействия в значениях пиковых ускорений. На основании этих входных параметров строится диаграмма повреждаемости и функция уязвимости зданий. Повреждаемость зданий оценивается в пяти градациях: без повреждения, легкие повреждения, умеренные повреждения, тяжелые повреждения и очень тяжелые повреждения. Данная программа позволяет также строить функцию уязвимости для конкретного типа зданий.

В связи с тем, что в основу оценки сейсмического риска положены экономические критерии, необходимо произвести расчеты с учетом этих показателей. Для этого проводятся следующие шаги:

- определяется текущая стоимость каждого конструктивного типа зданий и сооружение;
- проводится оценка конструктивной уязвимости каждого типа застройки от воздействия сценарного землетрясения;
- осуществляется переход от конструктивной уязвимости к вероятному конструктивному ущербу.

- делается экономическая оценка конструктивного ущерба и проводится расчет сейсмического риска для территории города.

Расчет сейсмического риска, выраженного в виде прямого экономического ущерба на единицу полезной площади зданий, является распространенным методом. Его можно представить следующим выражением [6]:

$$R = \sum \{f(d_k) * \sum Q_k^i\} / \sum S_k$$

где  $f(d_k)$  – функция, определяющая затраты на восстановление при степени повреждения зданий  $d_k$ ;  $Q_k^i$  – стоимость однотипных зданий с повреждениями  $d_k$ ;  $S_k$  – полезная площадь зданий с повреждениями  $d_k$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для тестирования методики оценки сейсмического риска был выбран г. Джизак, административный центр Джизакской области. Выбор территории города Джизак обусловлен тем, что город находится в центральной части Республики Узбекистан, который по-своему геоструктурному положению относится к области перехода от Тянь-Шаньского эпиплатформенного орогена к Туранской платформе. Сейсмичность территории напрямую связана с современной тектоникой данного региона. Сильные землетрясения, происходящие в непосредственной близости от города Джизак, связаны с современной сейсмогеодинамической активностью Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны, обусловленной динамическим влиянием одноименной системы региональных разломов. Согласно карте сейсмогенных зон Узбекистана и прилегающих к нему территорий, составленной под редакцией Р.Н.Ибрагимова (Карта сейсмогенных зон Узбекистана, 2011 г), территория города Джизака находится на северном крыле Южно-Ферганской сейсмогенной зоны, где вероятно возникновение землетрясений с магнитудой  $M \geq 6$ .

На рисунке 1. показаны изосейсты от сильных землетрясений в окрестности города Джизака с исторического периода времени по сей день.

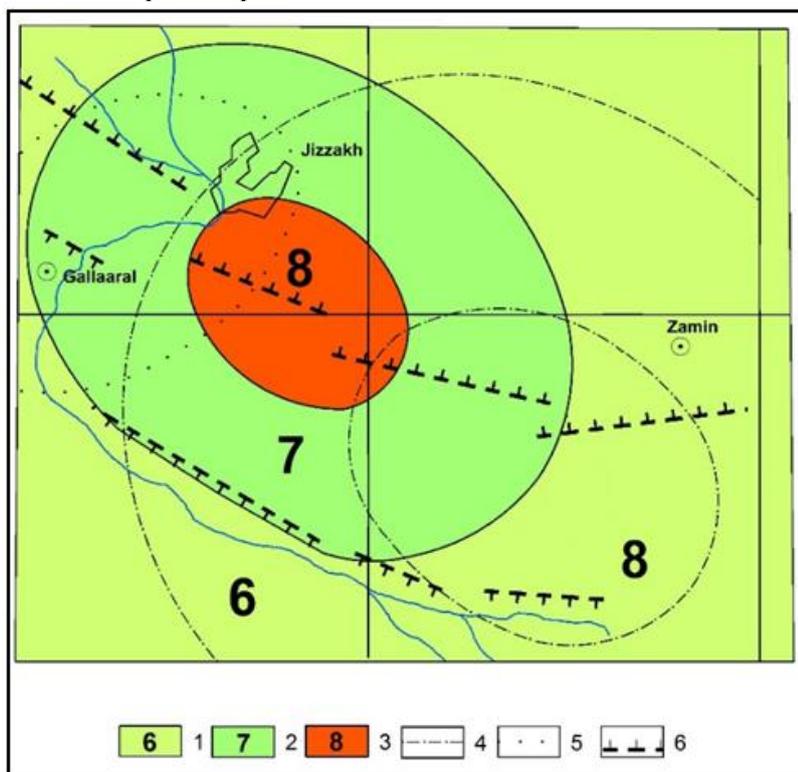


Рисунок 1. Схема изосейст сильных землетрясений Южно-Ферганской сейсмогенной зоны и расположение сценарного землетрясения: 1 -3. Зоны различной сейсмической интенсивностью от сценарного землетрясения, соответствующие 6, 7 и 8-ми баллам. 4 - границы изосейст Уратюбинского землетрясения 1897 г. ( $M=6,6$ ;  $H=25$ км,  $\Delta=37$ км); 5 - границы изосейст Галляаральского землетрясения 1984 г. ( $M=5,2$ ;  $H=15$ км,  $\Delta=24$ км); 6 - границы Южно-Ферганской сейсмогенной зоны.

Наибольший сейсмический эффект из всех указанных землетрясений отмечался при следующих сейсмических событиях: исторических Уратюбинских землетрясениях 1897-го года с  $M=6.6$  и  $M=6.7$  соответственно, произошедших в пределах Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Первое из них произошло на расстоянии порядка 60-70 км от Джизака, второе - значительно ближе к городу, на расстоянии порядка 30-40 км к юго-востоку от Джизака; Галляаральского (Джизакского) землетрясения 1984-го года с  $M=5.2$ , произошедшего на расстоянии 25 км от южной границы города.

Анализ долгосрочной сейсмической опасности для г.Джизака показывает, что на территории города в будущем ожидается возникновение сейсмических сотрясений интенсивностью до 7 баллов, которые могут быть следствием возникновения землетрясений в пределах Южно-Ферганской сейсмогенной зоны. Учитывая сейсмическую обстановку и современную тектоническую активность территории в качестве источника сейсмических воздействий для города Джизака, было выбрано сценарное землетрясение. Очаг сценарного землетрясения находился на расстоянии 18 км от города к юго-востоку от него и имел следующие параметры: магнитуда  $M \geq 6,0$ , глубина очага  $H=10$  км. Гипоцентральное расстояние от южных границ города составляло 21 км и было наименьшим, а от северных границ – 33 км и было наибольшим (рисунок 1). Однако следует помнить, что выбранное сценарное землетрясения является отдельным событием из всей совокупности возможных сейсмических событий в регионе.

Территория города Джизака приурочена к юго-западной оконечности Голодностепской впадины, заполненной мощной толщей (300-400 м) четвертичных отложений. Формирование четвертичных отложений происходило в несколько этапов, соответствующих нескольким денудационным, эрозионно-аккумулятивным и аккумулятивным циклам, создавшим террасовые поверхности и конуса выноса. Четвертичные отложения в пределах города представлены лессовидными суглинками, супесями с мощностью до 60 м, которые подстилаются дресвяно-щебнистыми, местами гравийно-галечниковыми отложениями, мощность которых более 150 м.

Наиболее важным показателем при оценке сейсмических колебаний грунтов и расчете изменений сейсмического эффекта является скоростные характеристики, т.е. скорость распространения продольных и поперечных волн. В связи с этим, были обобщены результаты сейсморазведочных исследований, проведенных при сейсмическом микрорайонировании города. Эти данные легли в основу расчета синтетической акселерограммы и оценки приращения сейсмической интенсивности.

Для оценки сейсмической интенсивности от сценарного землетрясения были рассчитаны синтетические акселерограммы с использованием программы Matlab MSEER\_GMS. для тех пунктов, где проведены сейсморазведочные исследования. Пример такой акселерограммы приведен на рисунке 2. Составлена схема распределения сейсмической интенсивности на территории г.Джизака от сценарного землетрясения (рисунок 3.), которая характеризуется в баллах макросейсмической шкалы и значениях пиковых ускорений.

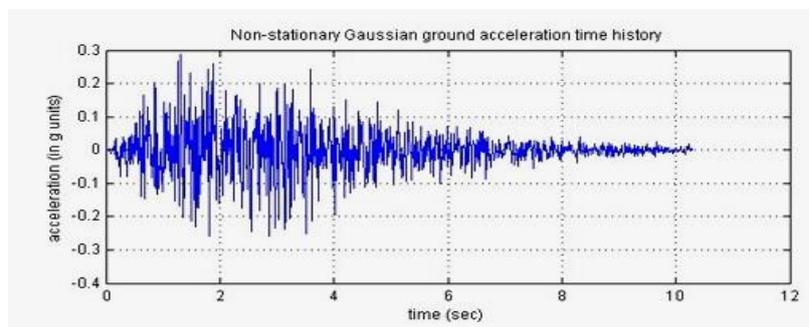


Рисунок 2. Синтетическая акселерограмма для пункта сейсморазведочных исследований № 27 (южная часть г. Джизака).

Установлено, что на расстоянии 24-26 км от очага землетрясения пиковые ускорения имели значение  $230-310 \text{ см/с}^2$ , что соответствует 8-ми балльной макросейсмической интенсивности. С увеличением расстояния от очага сценарного землетрясения пиковые ускорения снижаются и составляют величину  $160-200 \text{ см/с}^2$ , что соответствует 7 баллам.

С учетом грунтовых условий, на территории города выделяются 6, 7 и 8 балльные зоны. Данное районирование является основой для определения сейсмической уязвимости зданий.

Для оценки возможных повреждений зданий на территории г. Джизака от сценарного землетрясения были собраны общие кадастровые данные о типах, этажности, возраста и территориальном распределении застройки.

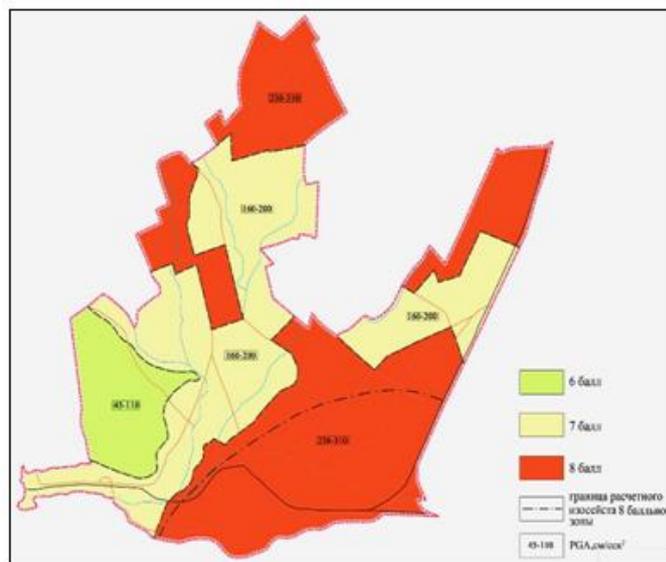
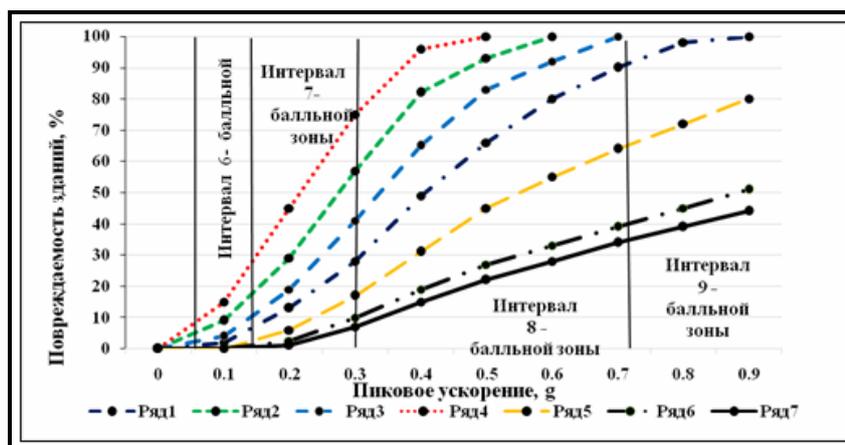


Рисунок 3. Схема распределения сейсмической интенсивности от сценарного землетрясения на территории г. Джизака. 1. - 6-ти балльная зона (пиковые ускорения до 100 см/сек<sup>2</sup>), 2. - 7-ми балльная зона (160-200 см/сек<sup>2</sup>), 3. - 8-ми балльная зона (230-310 см/сек<sup>2</sup>), 4. - граница расчетных изосейст от сценарного землетрясения

Согласно полученным данным, территория города в основном застроена зданиями из местных строительных материалов: типа «гуваляк» (овальная форма кирпича сырца), «кирпич сырец» и «пахса» (монолит из глинистого раствора), а также из жженого кирпича, железобетонных блоков, панельных и крупнопанельных типов. Для построения функции уязвимости каждого конструктивного типа сооружений использована программа GESIProgram. На рисунке 4 приведены функции уязвимости различных типов зданий, застроенных на территории г.Джизака.



1 - здания из жженого кирпича; 2 - здания из кирпича-сырца; 3 - здания из «пахсы»; 4 - здания из гуваляка; 5 - здания из жженого кирпича и каркасно-панельной конструкции (до 2-х этажей); 6 - здания из жженого кирпича комплексной конструкции; 7 - здания крупнопанельной конструкции.

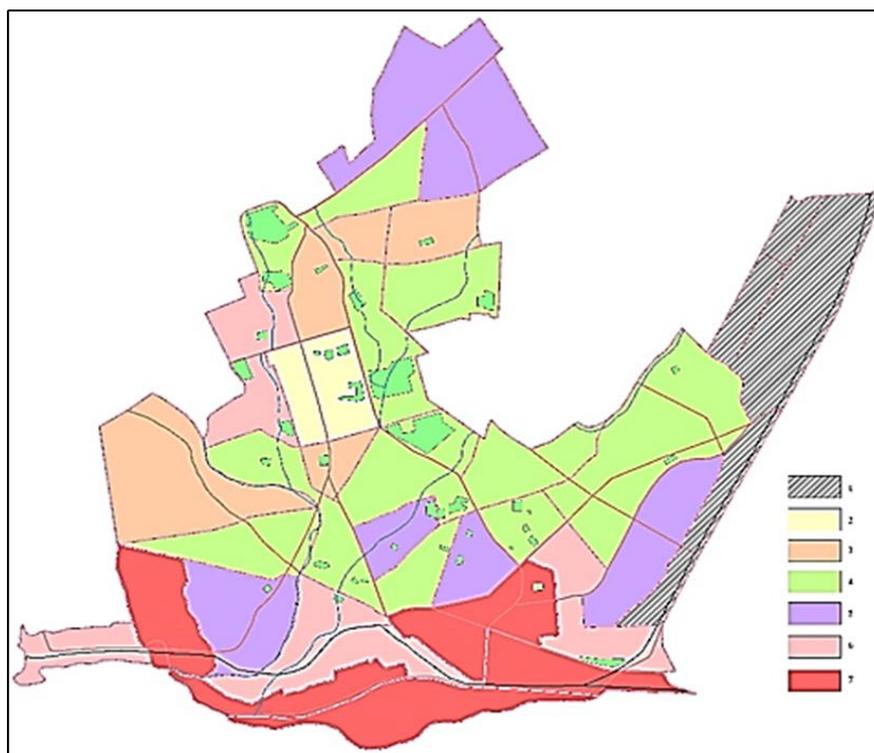
Рисунок 4. Функция уязвимости для различных типов зданий на территории г.Джизака.

Для сопоставления типов зданий с классом уязвимости была разработана классификация уязвимости зданий на территории города, которая представлена в таблице 2.

Таблица 2. Классификация уязвимости зданий на территории г.Джизака по EMS-98

Типы зданий		Класс уязвимости					
		A	B	C	D	E	F
Каменная кладка	Гуваляк	1					
	Кирпич-сырец	1	2				
	Пахса	2	1	3			
	Кирпич жженный		2	1	3		
	Усиленная кладка			3	1	2	
	Неармированная кладка с ж/б перекрытиями		2	1	3		
Железобетонные	Стеновые конструкции без АСМ		3	1	2		
	Стеновые конструкции с АСМ				2	1	3
	Каркасные конструкции без АСМ	3	2	1	3		
	Каркасные конструкции с АСМ			3	2	1	

1- Наиболее вероятный класс уязвимости; 2. Вероятный диапазон; 3. Менее вероятный



Относительное значение ущерба от полезной площади зданий: 1 - от 0 до 10%; 2 - 11-20%; 3 - 21-30%; 4 - 31-40%; 5 - 41-50%; 6 - 51-60%; 7 - 61-70%.

Рисунок 5. Схема распределения удельного ущерба от сценарного землетрясения на территории г.Джизака (в разрезе квартала).

Анализ функции уязвимости показывает, что здания из материала гуваляк при 7 балльных сейсмических воздействиях имеют повреждение 3-4 степени, а при 8-ми балльных воздействиях - 4-5 степени. Здания из кирпича-сырца при 7-мибалльных воздействиях имеют 3 степень повреждений, а при 8-ми балльных - 4 степень. Здания из пахсы имеют повреждение при 7 балльных сотрясениях 2-3 степень, а при 8-ми баллах - 3-4 степень, Здания, построенные из

жженого кирпича, имеют повреждаемость при 7-ми балльных сейсмических воздействиях 2 степень и при 8-ми балльных 2-3 степень. На территории города Джизака в 50-70-х годах прошлого столетия был построен ряд зданий из железобетонных панелей. Они в основном двухэтажные, а по назначению - административные, социальные и жилые. Эти здания согласно функции уязвимости, при 7-ми баллах имеют повреждаемость 2 степени, при 8-ми баллах - 2-3 степени.

Использование метода расчета прямого экономического ущерба при оценке сейсмического риска более информативно, но вместе с тем и более трудоемко. Однако можно воспользоваться упрощенными, относительными соотношениями стоимости зданий различных классов, что значительно упростит расчеты затрат. В этом случае риск будет определяться затратами на восстановление зданий до их исходного состояния, предшествовавшего землетрясению.

Исходя из этого, для оценки прямых ущербов на территории г.Джизака от сценарного землетрясения были использованы статистические и анкетные данные, собранные по махаллям (квартальная форма организации общественной жизни). При этом, в расчет ущерба приняты такие данные, как параметры сейсмического воздействия, тип сооружений и их уязвимость, степень повреждаемости зданий от сценарного землетрясения, градация ущерба от конструктивных особенностей, удельная текущая стоимость зданий (в зависимости от конструктивных типов), восстановительные затраты (в зависимости от степени повреждения, которые классифицированы на текущие, поддающиеся восстановлению и капитальные) и расчет удельного ущерба от сценарного землетрясения. На основании расчета была составлена схема распределения удельного ущерба по кварталам города (рисунок 5).

**Заключение.** Таким образом, научно-методологическая основа оценки и районирования сейсмического риска урбанизированных территорий базируется на данных оценки сейсмической опасности с выделением потенциально опасных очагов зон и выбора сценарного землетрясения, прогнозировании от него сейсмических воздействий с учетом затухания сейсмических колебаний и реальных грунтовых условий, а также оценке конструктивной уязвимости различных типов зданий, застроенных на территории города. Разработанная и апробированная методика оценки сейсмического риска в условиях города является эффективным инструментом для оценки возможного прямого ущерба при сильных сценарных землетрясениях. Полученные результаты и схемы сейсмического риска г.Джизака могут служить основой для разработки планов и мероприятий по подготовке к сильным землетрясениям и направлены на уменьшение возможного риска и предотвращение катастрофических последствий будущих землетрясений.

#### Литература

1. Александров А.А., Ларионов В.И., Суцев С.П., Фролова Н.И., Гумеров Р.А. Методы анализа сейсмического риска для населения и урбанизированных территории//Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. «Естественные науки». 2015. №2. С.110-124.
2. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Невский Л.Н., Архиреева И.Г. Оценка сейсмического риска урбанизированной территории//Геология и Геофизика юга России. 2014, №2 С.22-29.
3. Ларионов В.И., Фролова Н.И., Угаров А.Н., Методические подходы к оценке уязвимости и их применение при оперативном прогнозировании последствий землетрясений. Материалы Общероссийской конференции «Оценка и управление природными рисками», РИСК-2000, Москва, Анкил, 2000. С.132-135.
4. Осипов В.И., Ларионов В.И., Суцев, Фролова Н. И., Угаров А.Н., Кожаринов С.В., Барская Т.В. Оценка сейсмического риска территории г. Б. Сочи//Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология, 2015, № 1, с. 3-19.
5. Sergey Tyagunov, VakhitkhanIsmailov and Roman Ibragimov. Engineering-seismological aspects of earthquake scenario preparation: Experience of the IDNDR-RADIUS project implementation in Tashkent, Uzbekistan//International Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management. – Ankara, TURKIYE. 1999, p. 21-28.
6. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент, 2012. - 251 с.
7. Шахраманьян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасение населения (теория и практика). М.: Изд-во ВНИИ ГОЧС, 2000, 192 с.

## **TEKNOGEN SEYSMIKLIK**

УДК 550.34

**<sup>1</sup>Хамидов Л.А., <sup>1</sup>Ибрагимов А.Х., <sup>1</sup>Хамидов Х.Л.,  
<sup>1</sup>Артиков Ф.Р., <sup>1</sup>Ганиева Б.Р. <sup>2</sup>Анварова С.Г.**

<sup>1</sup>Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз,

<sup>2</sup>Национальный университет Узбекистана им.А.Р.Беруни, Ташкент, Республика Узбекистан

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЗА ТЕКУЩИЙ ПЕРИОД ПО ЗАПИСЯМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПЛОТИНЕ И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Xamidov L.A., Ibragimov A.X., Xamidov H.L., Artikov F.R., Ganiyeva B.R., Anvarova S.G.**

*O'zbekiston Respublikasi, Fanlar akademiyasi, G' A.Mavlonov nomidagi seismologiya instituti;*

*Mirzo Ulugbek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti*

### **CHORVOQ SUV OMBORI TO'G'ONIDA VA QIRG'OQ ETAKLARIDA ZILZILALARNI QAYD ETISH BO'YICHA JORIY DAVR UCHUN MA'LUMOTLARNI QAYTA ISHLASH NATIJALARI**

**Annotatsiya.** Maqolada qayd etilgan seysmik to'liqlarni tahlil qilish natijalari va ularning Chorvoq suv ombori to'g'onining tebranish dinamikasiga ta'siri aks etgan. Chorvoq suv ombori zonasining 2019-yildagi seysmik holati,  $K \geq 7$  dan mahalliy zilzilalar katalogi va avtomatlashtirilgan Chorvoq tizimi yozuvlari bo'yicha to'g'onning tebranishining kinematik va dinamik parametrlari va seysmik yuklanishlar ta'sirida Chorvoq tuproq to'g'oni barqarorligining tahlili berilgan. Tadqiqot ob'yekti - 8-9 balli seysmik zonada joylashgan O'zbekistonning Chorvoq suv ombori. Asosiy maqsad - seysmik kuzatuvlarning avtomatlashtirilgan tizimidagi seysmologik ma'lumotlarni qayta ishlash va tahlil qilish hamda hozirgi davr uchun Chorvoq to'g'oning holatini baholaydigan dinamik xususiyatlarini o'rganishdir. Belgilangan har bir vaqt oralig'i uchun zilzilalar sonining azimutiga qarab taqsimlanishi tahlili shuni ko'rsatdiki, Chorvoq to'g'oni mo'ljalidan epitsentrgacha bo'lgan masofada zilzilalar soni ko'paygan. Shu bilan birga, Chorvoq suv omborini tashkil etuvchi barcha daryolarning irmoq zonasida (shimoliy-sharqiy va sharqiy) zilzilalar soni Chirchiq daryosining quyi oqimidan ancha yuqori. Shuningdek, yaqin hududlar uchun  $\gamma$  gamma va  $A_{10}$  ning uzoq muddatli qiymatlari amalda o'tgan yildagi ko'rsatkichlarga to'g'ri kelishini ko'rsatdi.

**Kalit so'zlar** Seysmiklikning monitoringi, tarmoq, suv omborlari, to'g'onlar, seysmik stantsiyalar, seysmik tebranishlar, spektr, to'g'on, seysmik suyultirish, tezlik

**Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г.**

*Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз,*

*Национальный университет Узбекистана им.Мирзо Улугбека*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЗА ТЕКУЩИЙ ПЕРИОД ПО ЗАПИСЯМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПЛОТИНЕ И БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

**Аннотация.** В статье отражены результаты анализа записей сейсмических волн и их влияния на динамику колебания плотины Чарвакского водохранилища. Представлены состояние сейсмичности зоны Чарвакского водохранилища за 2019 год, местный каталог землетрясений с  $K \geq 7$  и оценки кинематических и динамических параметров колебания плотины по записям в АССН Чарвак и анализ устойчивости грунтовой плотины Чарвак при сейсмических нагрузках. Объектом исследований является плотина Чарвакского водохранилища Узбекистана, расположенного в зоне 8-9 балльной сейсмичности. Основной целью является обработка и анализ сейсмологических данных АССН и изучение динамических характеристик для оценки состояния Чарвакской плотины за текущий период. Анализом распределение количества землетрясений в зависимости от азимута для каждого из выявленных интервалов показано, что наблюдается рост количества землетрясений по расстоянию до эпицентра от створ плотины Чарвак. При этом количество землетрясений в зоне притока (северо восточно и восточное направление) всех рек, слагающих Чарвакское водохранилище, намного выше чем, ниже по течению р.Чирчик. Показано также, что долговременные значения  $\gamma$  гамма и  $A_{10}$  для ближних районов практически совпадают со значениями предыдущего года.

**Ключевые слова.** Мониторинг сейсмичности, сеть, водохранилища, плотины, сейсмические станции, сейсмические колебания, спектр, плотина, разжижение, скорость.

**Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Khamidov H.L., Artikov F.R., Ganiyeva B.R., Anvarova S.G.**

*Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanova AN RUz,*

*National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek*

### **RESULTS OF DATA PROCESSING FOR THE CURRENT PERIOD ON EARTHQUAKE RECORDS ON THE DAM AND ON THE COASTAL SLOPES OF THE CHARVAK RESERVOIR**

**Annotation.** The article reflects the results of the analysis of seismic wave records and their influence on the dynamics of oscillation of the dam of the Charvak reservoir. The seismicity status of the zone of the Charvak reservoir for 2019, the local catalog of earthquakes from  $K \geq 7$  and estimates of the kinematics and dynamic parameters of the dam's vibration according to the records in the Charvak ASSM's and the stability analysis of the Charvak earth dam under seismic loads are presented. The object of research is the dam of the Charvak reservoir of Uzbekistan located in the zone of 8-9 point seismicity. The main goal is the processing and analysis of ACSM's seismological data and the study of dynamic characteristics to assess the state of the Charvak dam for the current period. An analysis of the distribution of the number of earthquakes depending on the azimuth for each of the identified intervals shows that there is an increase in the number of earthquakes along the distance to the epicenter from the target of the Charvak dam. At the same time, the number of earthquakes in the tributary zone (north-east and east) of all rivers composing the Charvak reservoir is much higher than, downstream of the Chirchik river. It was also shown that the long-term values of  $\gamma$  gamma and  $A_{10}$  for the near areas practically coincide with the values of the previous year.

**Keywords.** Seismicity monitoring, network, reservoirs, dams, seismic stations, seismic vibrations, spectrum, dam, dilution, speed.

**Введение.** Проектирование, строительство и эксплуатация грунтовых плотин в сейсмических регионах, каким является республика Узбекистан, требует постоянного усовершенствования расчетных методов по оценке их прочности, устойчивости и работоспособности, как при статических, так и сейсмических нагрузках. Предлагаемая методика расчета грунтовой плотины в плоской упругой постановке на сейсмические воздействия методом конечных элементов позволяет учесть конструктивные особенности сооружения, кусочно-неоднородные физико-механические характеристики грунтов, как сооружения, так и его основания. Потеря прочности или разрушение такого рода сооружений при сейсмических нагрузках может привести нижерасположенных территорий к потере материальных ресурсов, экологическим катастрофам, а также к человеческим жертвам. Надежность и безопасность водоподпорных грунтовых сооружений во многом определяется напряжениями и деформациями, возникающими в плотине при различных нагрузках, включая сейсмические. Инженерно-сейсмометрические наблюдения в период эксплуатации водохранилища проводятся в соответствии с требованиями СНиП-7-81 (плотина относится к сооружениям 1 класса капитальности и расположена в зоне высокой сейсмичности- 8 баллов) [1,2,3]. Начиная с 2006 года, в соответствии с требованиями ШНК 2.06.11-04 для сооружений I-II классов обязательно включение в состав исследований раздел по организации инструментальных наблюдений за поведением сооружений, их оснований и береговых склонов при динамических воздействиях (землетрясения, взрывы и др.) [3].

Результаты данных исследований в определенной степени служат выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года за № 3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан». В приложении № 1, первого раздела, 4-пункта вышеуказанного Постановления представлен «Комплекс мер по дальнейшему развитию и повышению эффективности научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства зданий и сооружений, а также повышению уровня сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан». Изложенные позиции определяют необходимость дальнейшего развития методологии мониторинга риск образующих факторов и состояния уязвимости крупных гидросооружений на основе современных аппаратных, информационных, телекоммуникационных технологий и модельных представлений.

**Сейсмологические исследования.** В целом, распределение землетрясений за текущий период в зоне 8-9 балльной сейсмичности Чарвакского водохранилища производилось согласно каталогу составленной нами по состоянию локальной сейсмичности за 2019 год (табл. 1). Карта эпицентров землетрясений с магнитудой  $2,0 \leq M \leq 4,5$  за текущий период в зоне возможного влияния водохранилища отражает распределение эпицентров за период ее эксплуатации (смотреть рис.1, 2, 3 и 4). При определении вариации сейсмической активности  $A_{10}$  и наклона графика повторяемости  $\gamma$  основывалось на повторяемость землетрясений как фундаментальном свойстве сейсмического процесса. Известно, что в зоне влияния Чарвакского водохранилища в северо-западном направлении по простиранию Каржантауской флексуры преобладающим (по состоянию НДС)

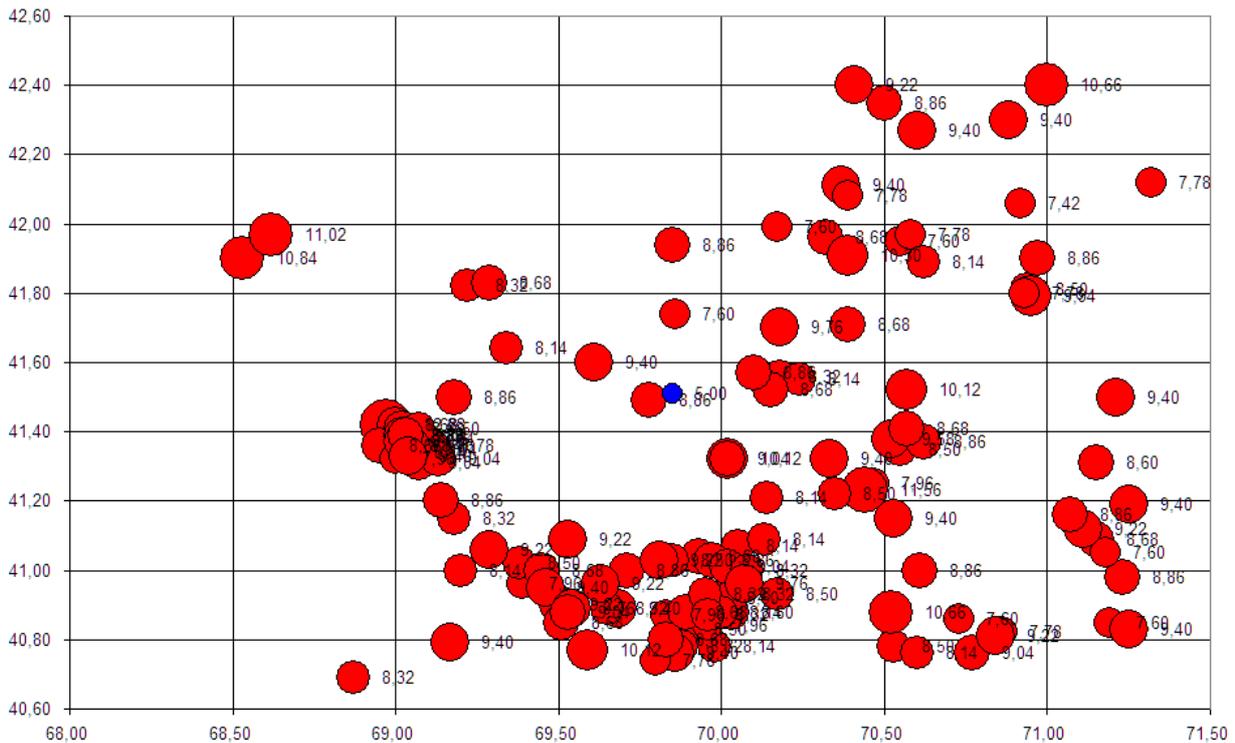
являются надвиги и сдвиго-надвиги по плоскостям разрывов, согласующимся с важнейшими рельефообразующими разломами. Полоса изменение энергетического класса землетрясений лежит в пределах  $7 < K < 13$ . На рис.3 ниже показано очаги землетрясений, расстояния от водохранилища до эпицентра и возможная скорость распространения деформаций при вариации давления на основания в 2019 году. В качестве информативного параметра в данном случае рассматривался угол погружения оси сжатия, так как разномасштабными исследованиями (геологическими, геодезическими, сейсмологическими) установлено преобладание на Западном Тянь-Шане близкой к горизонтальному субмеридиональное сжатия. Оно и, возможно является определяющей механизм подвижки в микроочагах землетрясений типа надвиг или сдвиг (в зависимости от ориентации оси растяжения).

Таблица 1. Каталог местных землетрясений за 2019 год для зоны Чарвакского водохранилища в радиусе до 150 км, с энергетическим классом  $K \geq 8$ .

№ пп.	Дата	Время возник. землетрясений ч.м.с.	Координаты		Н км	Класс	Дис R, км
			$\varphi$	$\lambda$			
1	06.01.2019	11:52:02	41,31	71,15	5	8,60	100,67
2	06.01.2019	00:16:23	41,56	70,18	15	8,32	15,99
3	08.01.2019	11:10:16	40,92	69,99	15	8,50	81,24
4	15.01.2019	01:57:47	40,98	71,23	20	8,86	124,88
5	17.01.2019	23:05:54	42,27	70,6	15	9,40	83,51
6	26.01.2019	12:28:05	41,7	70,18	15	9,76	13,64
7	09.02.2019	12:09:55	41,21	70,14	15	8,14	49,78
8	11.02.2019	11:20:08	40,78	69,98	2	8,14	96,83
9	23.02.2019	12:42:53	40,88	70,03	3	8,60	85,62
10	25.02.2019	09:35:02	40,93	70,04	5	8,32	80,06
11	02.03.2019	09:18:49	41,07	70,05	7	8,14	64,51
12	16.03.2019	12:30:02	41,09	70,13	4	8,14	62,83
13	19.03.2019	09:36:22	41,04	69,93	5	8,68	68,34
14	23.03.2019	09:09:16	41,03	69,97	21	8,86	69,12
15	26.03.2019	11:17:40	40,83	69,89	3	8,50	91,93
16	28.03.2019	12:18:48	41,01	70,02	9	9,04	71,17
17	28.03.2019	18:10:15	40,76	70,77	16	9,04	116,73
18	10.04.2019	09:04:50	40,78	69,88	3	8,32	97,55
19	14.04.2019	06:27:04	41,09	71,15	5	8,68	112,30
20	23.04.2019	09:36:10	41,81	70,94	5	8,50	77,58
21	30.04.2019	09:46:35	40,88	69,89	11	8,68	86,42
22	04.05.2019	13:32:01	41,00	70,08	8	8,32	72,40
23	08.05.2019	10:50:58	40,88	70,00	5	8,14	85,66
24	18.05.2019	20:01:09	41,96	70,32	5	8,68	42,02
25	23.05.2019	11:30:10	40,78	70,53	5	8,50	105,39
26	26.05.2019	11:01:47	40,93	69,95	7	8,32	80,34
27	28.05.2019	11:54:56	41,03	69,85	3	8,50	70,56
28	07.06.2019	15:37:48	42,35	70,5	10	8,86	86,99
29	21.06.2019	03:33:27	40,76	70,60	3	8,14	109,85
30	23.06.2019	12:47:02	41,12	71,11	3	9,22	107,66
31	24.06.2019	00:19:41	42,11	70,37	17	9,40	58,38

32	27.06.2019	11:57:27	40,76	69,86	4	9,40	99,98
33	27.06.2019	10:34:24	41,16	71,07	3	8,86	102,43
34	21.07.2019	10:39:45	40,93	70,17	5,00	8,50	80,91
35	23.07.2019	11:40:23	40,96	70,07	15,00	9,76	76,80
36	26.07.2019	09:51:19	40,79	69,17	18,00	9,40	119,66
37	26.07.2019	11:16:31	40,90	69,50	7,00	9,22	94,43
38	11.08.2019	22:35:02	41,71	70,39	18,00	8,68	30,63
39	19.08.2019	22:03:33	41,55	70,24	5,00	8,14	20,70
40	21.08.2019	12:12:21	40,85	69,51	21,00	8,68	99,01
41	29.08.2019	10:27:09	41,90	70,97	16,00	8,86	82,76
42	30.08.2019	08:44:40	41,91	70,39	15,00	10,3	41,56
43	04.09.2019	11:04:43	41,00	70,61	3,00	8,86	87,00
44	07.09.2019	11:44:54	41,00	69,45	5,00	8,68	87,00
45	08.09.2019	15:18:13	41,52	70,15	5,00	8,68	17,57
46	14.09.2019	11:20:25	41,79	70,95	18,00	9,94	77,93
47	26.09.2019	10:00:49	41,03	69,81	30,00	9,22	71,35
48	28.09.2019	17:09:29	42,40	70,41	5,00	9,22	89,11
49	02.10.2019	04:37:12	40,95	69,46	25,00	9,40	91,25
50	04.10.2019	09:32:45	40,69	68,87	5,00	8,32	144,30
51	07.10.2019	09:41:12	40,89	69,65	2,00	8,32	90,28
52	08.10.2019	10:00:51	40,87	69,96	4,00	8,32	86,93
53	15.10.2019	09:31:45	40,80	69,83	3,00	8,68	95,98
54	17.10.2019	04:16:52	42,40	71,00	23,00	10,66	115,65
55	20.10.2019	18:22:49	41,57	70,10	17,00	8,86	10,63
56	21.10.2019	03:29:51	41,90	68,53	18,00	10,84	127,45
57	21.10.2019	04:47:23	41,97	68,62	23,00	11,02	122,16
58	23.10.2019	17:06:38	41,94	69,85	5,00	8,86	35,53
59	25.10.2019	09:55:25	41,64	69,34	2,00	8,14	57,35
60	30.10.2019	05:29:48	40,88	70,52	21,00	10,66	94,91
61	01.11.2019	06:47:00	40,96	69,63	6,00	9,22	83,68
62	06.11.2019	15:56:06	41,23	70,44	15,00	11,56	57,87
63	06.11.2019	16:16:12	41,32	70,33	21,00	9,40	44,40
64	07.11.2019	18:06:26	41,22	70,35	2,00	8,50	54,75
65	07.11.2019	22:06:15	41,89	70,62	7,00	8,14	55,73
66	10.11.2019	12:18:53	41,15	70,53	15,00	9,40	69,50
67	12.11.2019	23:53:17	41,32	70,02	27,00	10,12	36,70
68	13.11.2019	00:07:05	41,35	70,55	15,00	8,50	54,66
69	15.11.2019	12:06:15	42,30	70,88	8,00	9,40	100,80
70	16.11.2019	12:18:51	41,32	70,02	21,00	9,04	36,70
71	18.11.2019	16:54:02	41,52	70,57	30,00	10,12	47,18
72	21.11.2019	09:57:34	41,06	69,29	7,00	9,22	90,10
73	22.11.2019	07:55:06	40,89	69,54	3,00	9,76	93,91
74	25.11.2019	18:02:50	40,83	71,25	30,00	9,40	136,82
75	27.11.2019	16:19:51	41,60	69,61	8,00	9,40	35,35
76	28.11.2019	09:40:41	41,38	70,52	24,00	9,58	50,65

77	12.12.2019	14:43:02	41,37	70,62	24,00	8,86	58,16
78	17.12.2019	19:24:16	41,19	71,25	19,00	9,40	113,86
79	21.12.2019	23:50:51	40,81	70,84	16,00	9,22	115,38
80	22.12.2019	16:48:52	41,50	71,21	27,00	9,40	99,56
81	22.12.2019	20:51:59	41,41	70,57	25,00	8,68	52,28
82	27.12.2019	06:18:32	41,09	69,53	8,00	9,22	74,95
83	30.12.2019	09:01:50	40,88	69,53	5,00	9,04	95,27



Условные обозначения: синий кружок - створ водохранилища Чарвак; красные кружки - очаги землетрясений, произошедших в 2019 году; цифры рядом с кружками - энергетический класс землетрясений;

Рис.1. Распределение землетрясений в радиусе 150 км в зоне влияния водохранилища Чарвак в период эксплуатации за 2019 год

Анализ по всем секторам (рис.3) показал, что положение оси сжатия на средних расстояниях от водохранилищ испытывает близкие к периодичным изменения. Возможно поэтому и скорости деформаций в северо-восточном направлении умеренные.

При этом разрывы предположительно средней длины, видимо происходят при увеличении объема водохранилищ (усилении субгоризонтального сжатия). В Южном направлении во многих местах положение оси сжатия предположительно приближается к субгоризонтальному. Особенно в зоне Чарвакского водохранилища это наблюдалось в 90 км к югу от Чарвакского водохранилища. Но наиболее сильные землетрясения ( $M > 3,8$ ) происходят в условиях, когда ось сжатия начинает отклоняться от горизонтального положения ( $\alpha > 20^\circ$ ), это северо-западное направление в рис.3. Скорости деформации в этой зоне выше, чем в других секторах. Это может означать, что увеличением угла  $\alpha$  количество землетрясений в зоне Чарвакского водохранилища убывает.

Наблюдается некоторое увеличение количества землетрясений при углах  $\alpha$ :  $65^\circ - 75^\circ$ . Глубина гипоцентра увеличивается по экспоненциальному закону в зависимости от времени (рис.4). Рассмотрено всего 130 событий. Максимальное количество этих событий произошло при малом угле  $\alpha$ .

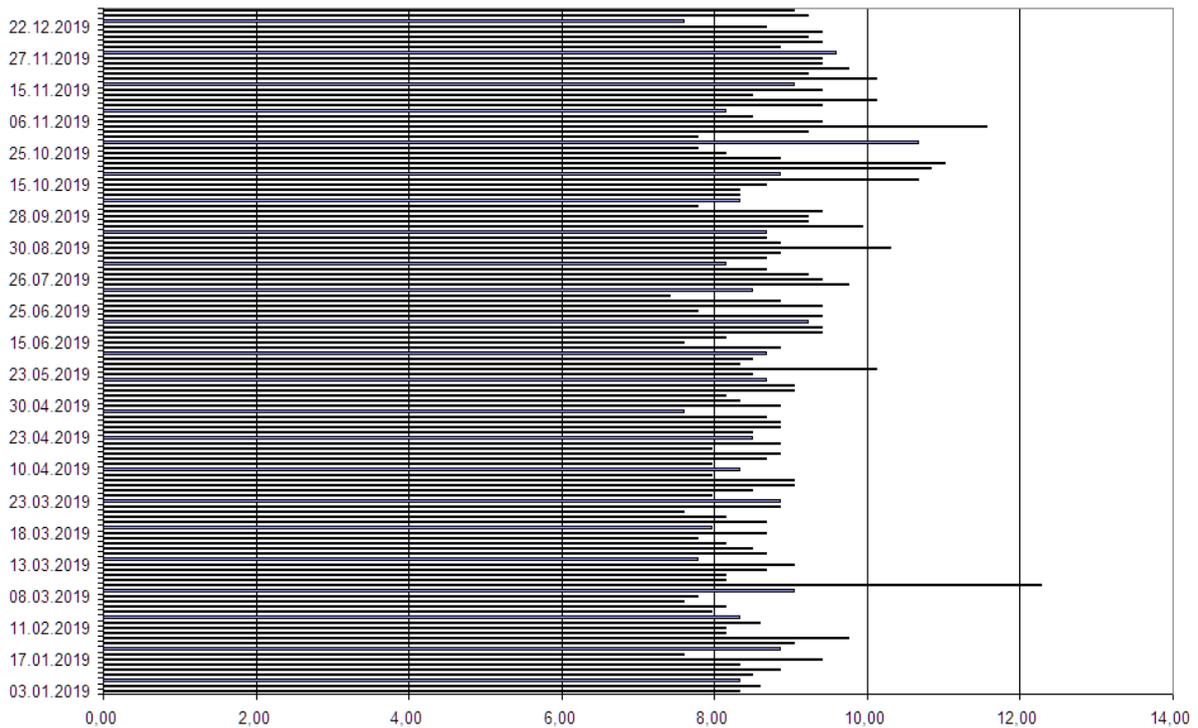


Рис.2. Распределение землетрясений зоны Чарвакского водохранилища в радиусе до 150 км, с энергетическим классом  $K \geq 7$  в период эксплуатации в 2019 году (по табл.1).

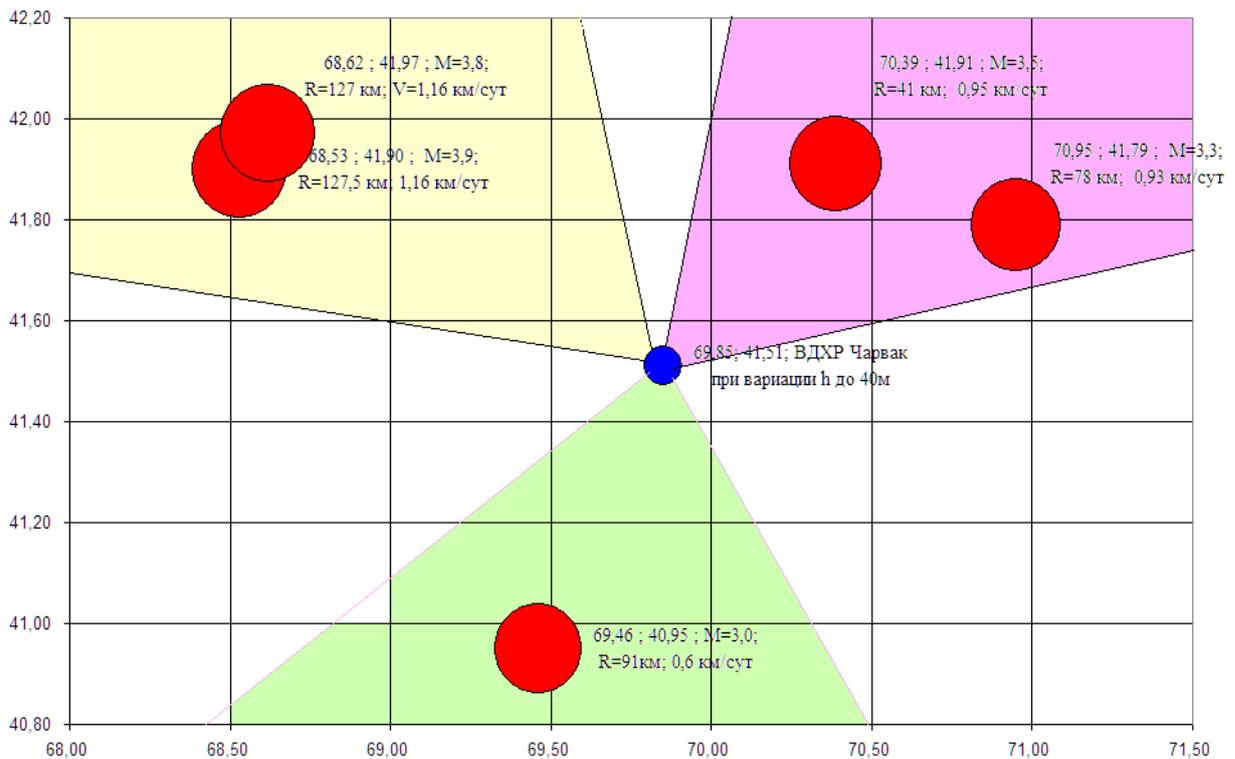


Рис. 3. Очаги землетрясений, расстояния от водохранилища до их эпицентра и возможная скорость распространения деформаций при изменении давления на основания.

Тогда можно принять, что на Западном Тянь-Шане процесс дополнительного деформирования происходит при некоторых определённых  $\alpha$  углах погружения оси сжатия, а именно: близ горизонтального положения оси сжатия ( $0^\circ - 16^\circ$  от горизонта), средние углы погружения ( $20^\circ - 40^\circ$ ) и крутые углы (больше  $60^\circ$ ).

Распределение количества землетрясений в зависимости от азимута для каждого из этих интервалов показывает слабую тенденцию к большому отклонению азимута от меридиана при увеличении угла погружения. Рисунок 5 показывает рост количество землетрясений по расстоянию до эпицентра от створа плотины Чарвак. Поэтому количество землетрясений в зоне притока (северо восточно и восточное направление) всех рек, слагающих Чарвакское водохранилище, намного выше чем, ниже по течению р.Чирчик.

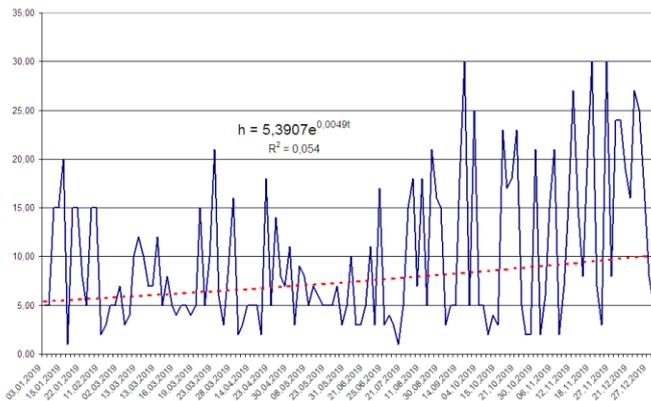


Рис.4. Распределение очагов землетрясений по глубине.

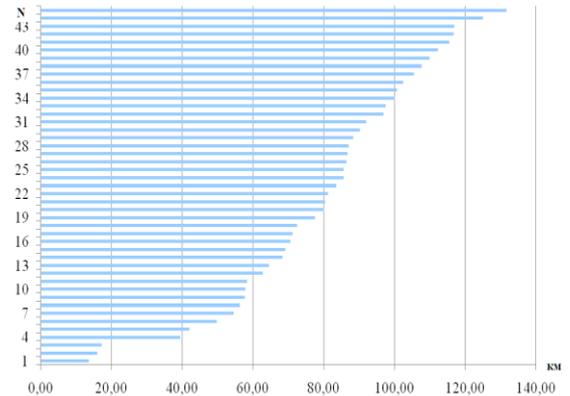


Рис. 5. Количество землетрясений по расстоянию до эпицентра от створа плотины Чарвак.

Исследования сейсмичности локальных участков и ближних зон водохранилища Чарвак включили в себя построение карт площадного распределения местных и региональных землетрясений (рис.1, табл. 1). Для обеспечения устойчивости результатов исследований производился выбор из всех возможных вариантов тех оценок, которые дали наиболее близкий к истинному (рис.2,3 и 5). Она часто описывается в виде минимизации целевого функционала. За различные периоды времени наклон графика повторяемости практически меняется незначительно, но ошибка определения  $\gamma \pm \sigma$  увеличилась незначительно. Это связано с понижением уровня представительности землетрясений за последние годы. Значения сейсмической активности  $A_{10}$  имеют общую тенденцию к частичному снижению.

В базу данных включены значения параметров  $\gamma$  и  $A_{10}$  для двух районов, рассчитанные за различные интервалы времени [4]. Долговременные значения  $\gamma$  гамма и  $A_{10}$  для ближних районов практически совпадают со значениями предыдущего года. Значения этих параметров несколько отличаются по периодам эксплуатации. Для всей зоны влияния Чарвакского водохранилища, при оценке распределения уровней повторяемости выделяется более плотные сейсмоактивные зоны по направлению к юго-западу от него.

Вблизи водохранилища активность слабых землетрясений высокая (0,64). О сейсмичности района Чарвакского водохранилища можно отметить следующее: во время эксплуатации Чарвакского водохранилища отмечается повышение значений основных показателей: значение  $A_{10}$  увеличилось, наблюдается общее увеличение числа землетрясений.

При более детальном анализе сейсмичности зоны Чарвакского водохранилища выявлены слабые местные землетрясения с  $K \geq 7$ .

**Обработки данных по записям землетрясений.** Мониторинг сейсмичности для получения данных за полный (в разрезе годового цикла) рабочий период работы плотин водохранилищ, т.е. режим «наполнение-опорожнение» проведено в 2019 году с частичной оценкой колебания плотины во время землетрясений и оценкой собственных частот колебаний. Схема системы показано на рис.8. Расположение плотины Чарвакской ГЭС и сейсмометрических датчиков в измерительных точках АССН по мировым координатам показано на рис.9.

### АССН ПЛОТИНЫ ЧАРВАКСКОЙ ГЭС

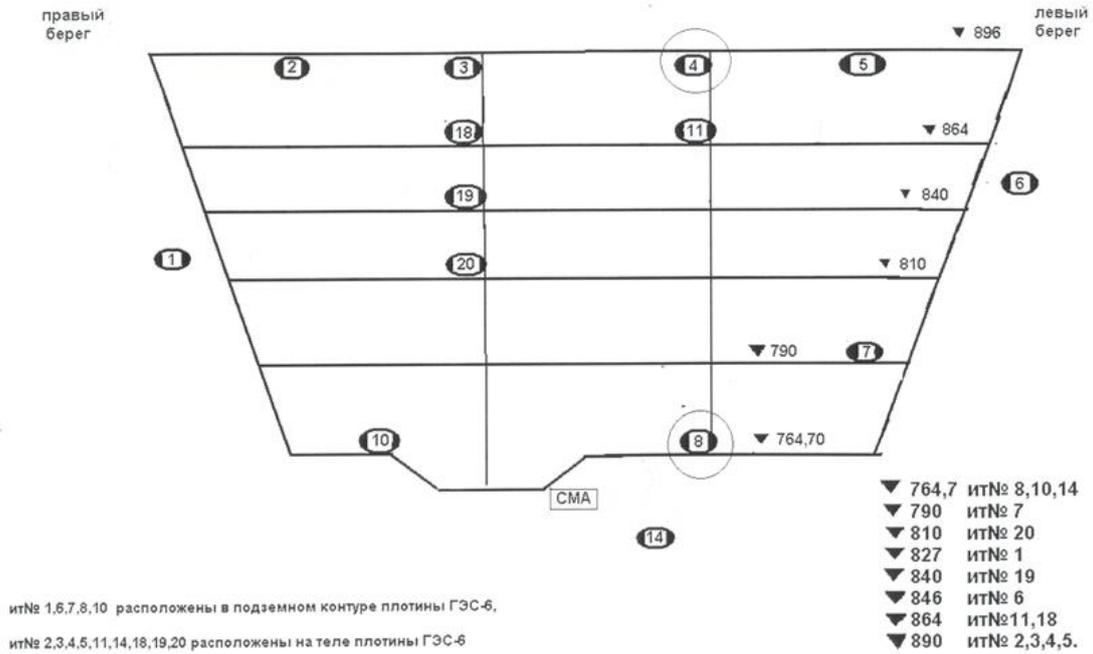


Рис.8. Схема системы «АССН Чарвак».

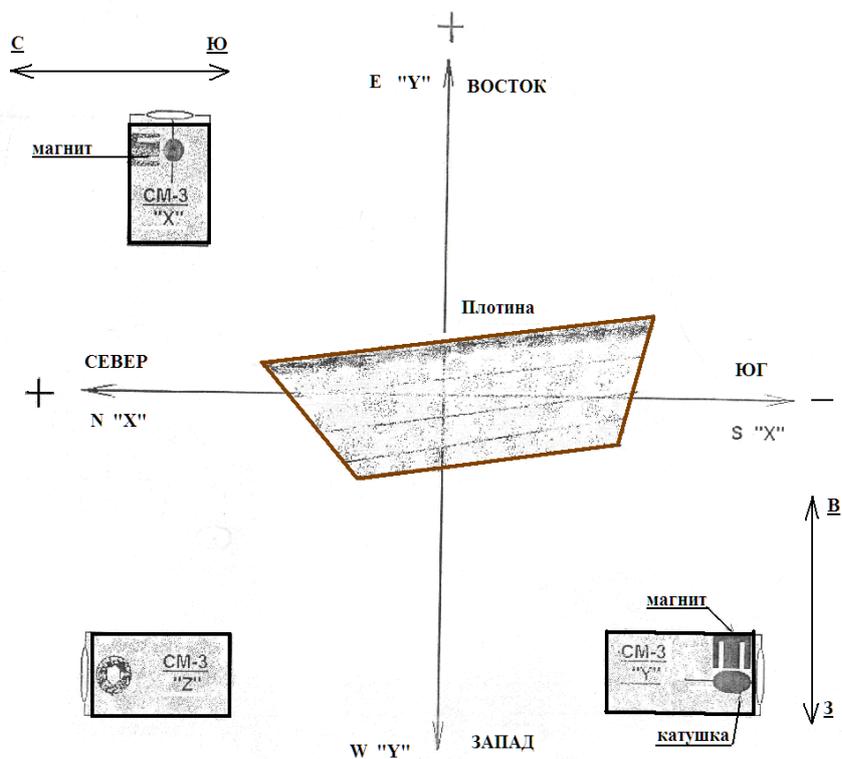


Рис. 9. Расположение плотины Чарвакской ГЭС и сейсмометрических датчиков в измерительных точках (ИТ) АССН по мировым координатам.

Установленная на Чарвакской плотине многоканальная цифровая система позволила расширить возможности при обработке записей с наблюдаемыми диагностическими параметрами контрольно измерительной аппаратурной (КИА) системы в теле плотины. Это позволило, наряду с получаемыми данными натуральных наблюдений, представить данные и проводить общий анализ состояния плотины Чарвакского водохранилища [10,11].

За период тестирования многоканальной системы сейсмического мониторинга плотины Чарвакского водохранилища зарегистрированы землетрясения локальные и региональные [11].

В таблице 3 приведены коэффициенты демпфирования на разных участках плотины.

Таблица 3. Коэффициент демпфирования (%) сейсмических колебаний на разных участках плотины

ДАТА	время	R	MI
13/03/2019	21:32:00.0	91,86	4,60
Пункт регистрации	EW	NS	Z
14	28,2	32,7	23,3
4	33,3	8,2	24,8
6	36,4	31,2	47,3
8	46,2	54,6	17,5
18	11,8	43,2	12,8
10	56,3	48,7	3,8
2	8,6	8,3	16
1	0,62	0,87	0,89

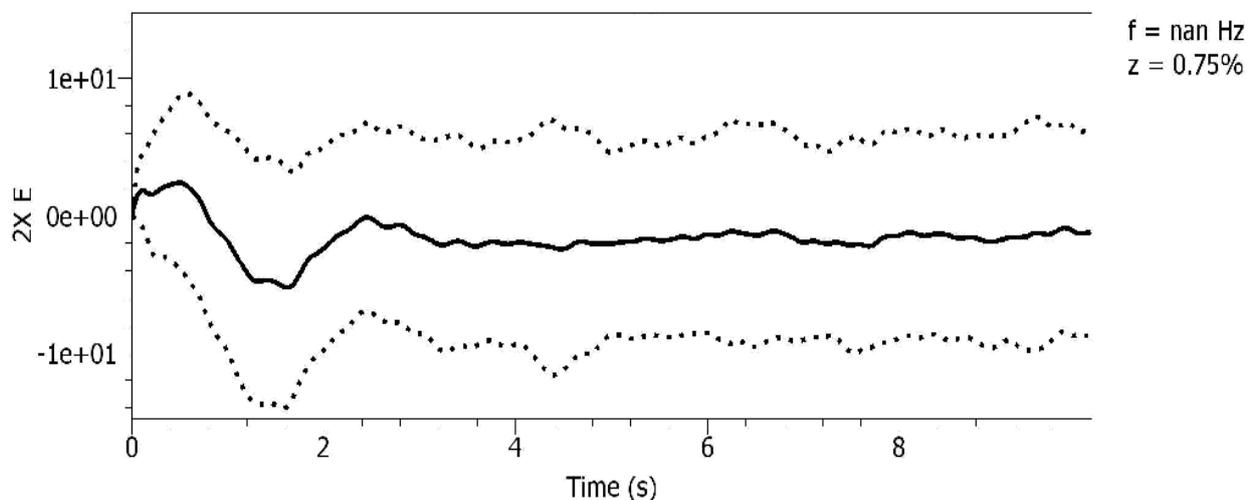
Использование технологии HVSR (метод Накамуры) позволил построить скоростную модель тела плотины (табл.4):

Таблица 4. Скоростная модель тела плотины Чарвак

H,m	Vs	KL
16,31	527,89	0,193
21,40	538,63	0,289
30,30	562,57	0,775
47,62	571,49	1,241
68,94	587,37	1,742
96,37	602,130	11,239
162,84	625,99	2,630

Здесь: H- глубина отражающих границ, Vs- средняя скорость в слое поперечных волн, KL - коэффициент разжижения грунтов.

На рис.10. представлены коэффициент демпфирования среды по измеренным точкам.



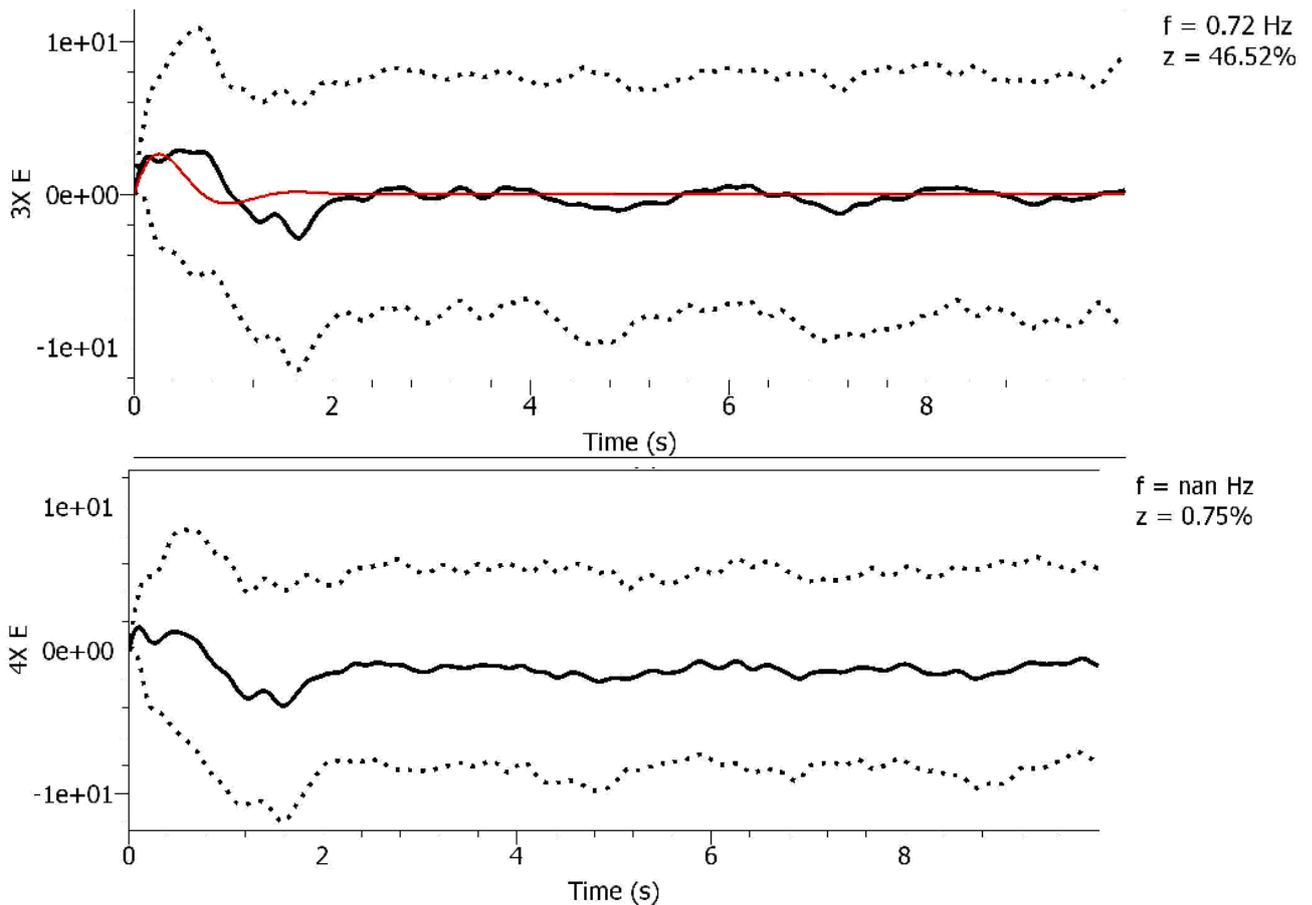


Рис.10. Коэффициент демпфирования среды по измеренным точкам 2 левая часть гребня и 3,4 центральной части гребня

Следующие два рисунка иллюстрируют распределение по глубине средней скорости в слое поперечных волн и коэффициент разжижения грунтов (рис.11 а и б).

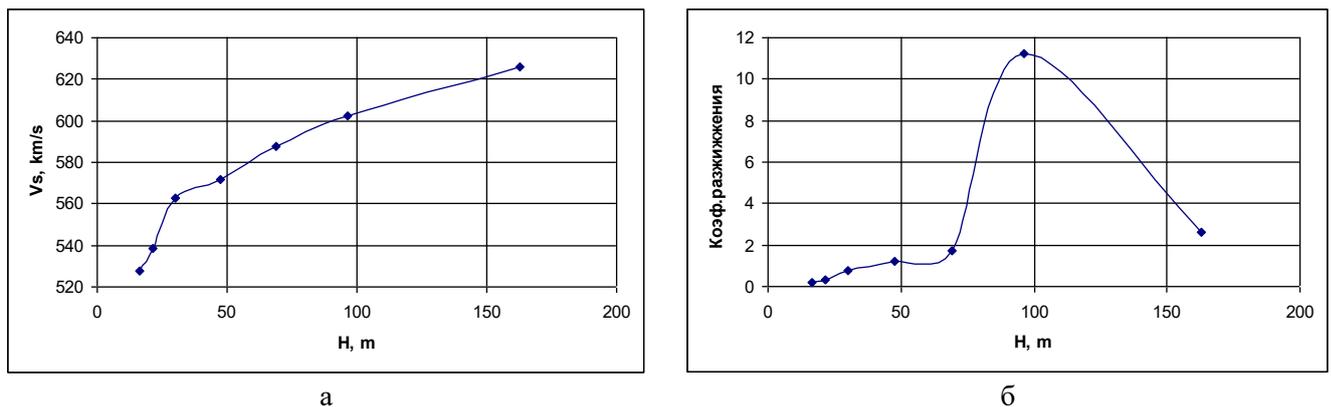


Рис.11. Распределение по глубине средней скорости  $V_s$  в слое поперечных волн и коэффициент разжижения  $KL$  грунтов

С применением этого же метода получено отношение спектра горизонтальных компонент к вертикальной (рис.12 а и б).

Ниже на рисунке 13 показаны фрагмент записи землетрясений а-30.08.2019 с  $M=3,5$  на расстоянии 41,56 км и б- 06.11.2019 с  $M=4,2$  на расстоянии 57,87 км от створа плотины (табл.1).

Анализ записи землетрясений по 3 компонентам (рис.9) показывает, что амплитудный уровень колебаний по направлению «Y» (вдоль каньона) по сравнению с другими направлениями высок, т.е.  $X:Y:Z=1,6:1,2:1,0$ .

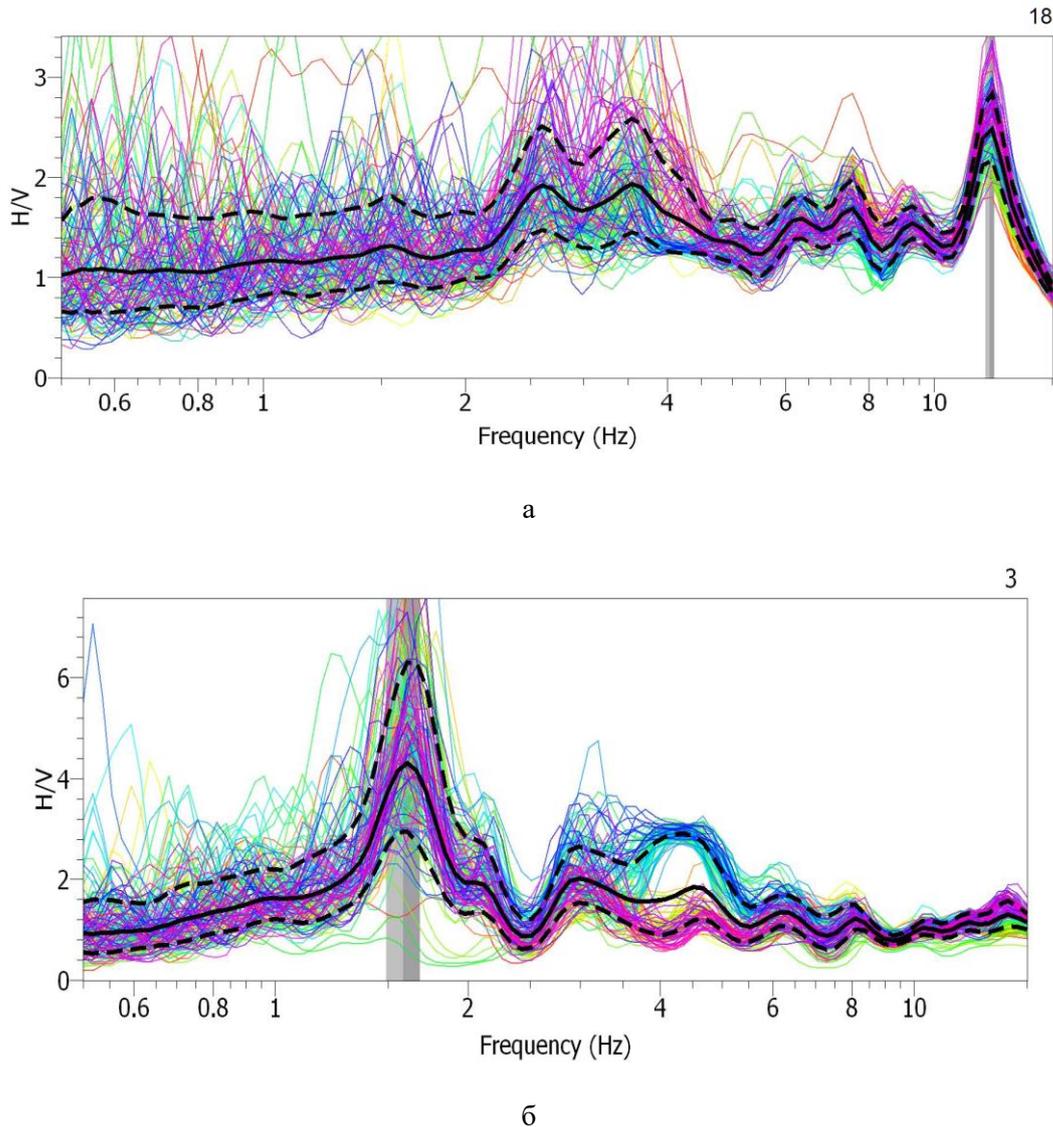


Рис.12. Отношение спектра горизонтальных компонент к вертикальной по измерительным точкам 8 на основании 3 на гребне.

Учитывая тот факт, что продольное направление колебания для плотины является наиболее опасным, дальнейший анализ целесообразно производить по этому направлению. Здесь также можно выделить увеличение сигнала по высоте в точках наблюдения -  $X_3:X_4=1:1,2$ , появление высокочастотных колебаний с периодом  $t \approx 0,3 \div 0,5$ с на фоне общего колебания с  $t \approx 0,8$ с. от землетрясения 06.11.2019 с  $M=4,2$  на расстоянии 57,87 км от створа плотины. В этой записи колебания в ИТ3 и ИТ4 в момент  $T=20$ с характеризуется синхронными колебаниями. Такая синхронность объясняется колебаниями как твердого тела всего интервала между этими ИТ. Такой характер колебаний наблюдался и в других сопряженных ИТ в записях землетрясения с эпицентральной расстоянием  $R = 50 \div 100$  км с интенсивностью колебаний на месте наблюдений 2÷3 балла.

Для изучения поведения других элементов (шахты, основание и гребень) плотины во время землетрясения из сейсмограмм отбирались записи по компоненте «X» и выделили цуг максимальных амплитуд волн «S», затем производилась дальнейшая обработка (26.01.2019,  $R=13,64$ км; 24.06.2019,  $R=58,38$ ; 30.08.2019,  $R=41,56$ км и 27.11.2019,  $R=35,35$ км. рис.8. табл.1).

Амплитуда смещения  $A_{\max}=0,24$  мм в ИТ 2. Интенсивность в этой точке не превышает 2 балла.

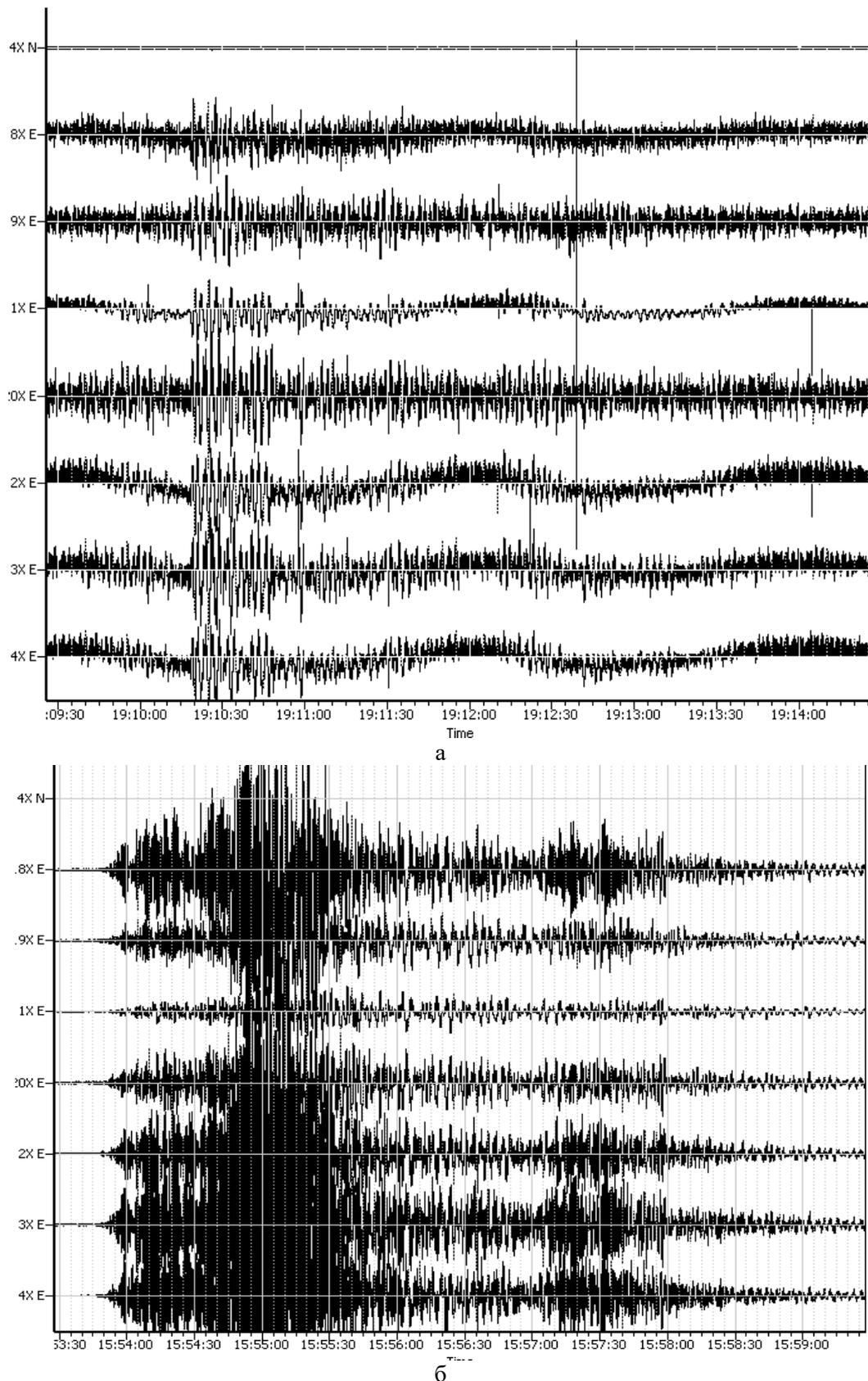


Рис. 13. Фрагмент записи землетрясений а-30.08.2019 с  $M=3,5$  на расстоянии 41,56 км и б- 06.11.2019 с  $M=4,2$  на расстоянии 57,87 км от створа плотины

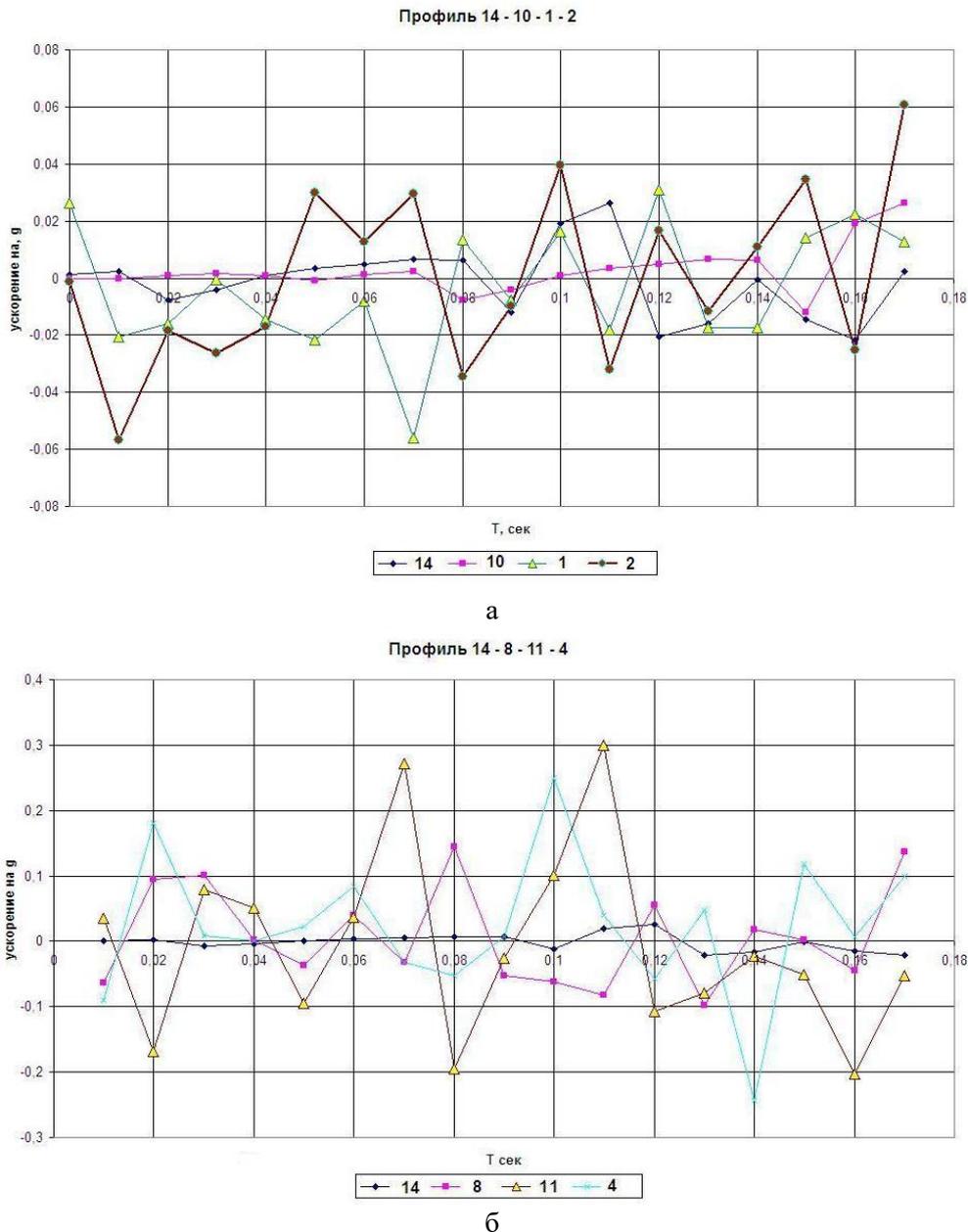


Рис.14. Изменение ускорений по записям смещений на гребне плотины с её основанием

При сравнении ускорений по записям смещений на гребне плотины с её основанием (рис.14 а и б) можно заметить, что форма записей на гребни и основании плотины одинаковая и амплитуды колебания близки. Небольшое (около 10%) увеличение амплитуд наблюдается в ИТ 2 и 4 на гребне плотины.

Такого же характера поведение ИТ, расположенных в левом и правом борту гребне частях по сравнению с нижними частями во всех ИТ плотины. Расчет относительного изменения интенсивности колебаний производился по записям 12 землетрясений с энергетическим классом более 9 по соотношениям амплитуд  $\delta = A_{\max}(i)/A_{\max}(o)$ , где (i) -номер ИТ №№ 1÷4, 8÷5, (o) - номер ИТ №14, в основании плотины (рис. 8). Среднеквадратичное отклонение -  $\sigma$  изменяется от  $\pm 0,22$  до  $\pm 0,34$  при количестве определений от 7 до 16. Значения  $\bar{\delta}_x$  и  $\bar{\delta}_y$  во всех профилях по высоте ИТ больше 1. Это, по-видимому, объясняется высокой степенью неоднородности и разности плотности материалов сложения тела плотины и её основания.

Небольшое увеличение наблюдается в ИТ 4 и 3 ( $\bar{\delta}_x = 1,14 \div 1,05$ ) в ИТ 1 и 2 ( $\bar{\delta}_x = 1,1 \div 1,06$ ) в

ИТ11, расположенных в верхней берме плотины. Для выяснения отношения амплитуд колебаний продольного и поперечного колебаний в измерительных участках производилась статистическая обработка значения  $\delta_{x/y} = A_{max}(x)_i / A_{max}(y)_i$  (Табл.5). Среднее значение  $\bar{\delta}_{x/y}$  более 1, т.е. сигналы во всех ИТ по направлению «X» больше, чем по направлению «Y», что является нормальным явлением.

Таблица 2. Значения отношения  $\delta_{x/y} = A_{max}(x)_i / A_{max}(y)_i$  в измерительных точках по смещению

ИТ	1	2	3	4	5	10	11	14	8
К-во	12	10	10	11	8	7	7	7	7
мин	0,75	0,9	0,52	0,46	0,86	0,71	0,88	0,93	0,79
мак	2,5	3,0	3,95	2,4	1,75	2,14	1,68	2,35	2,52
$\bar{\delta}_{x/y}$	1,44	1,42	1,58	1,44	1,22	1,26	1,46	1,42	1,49
$\sigma$	0,53	0,61	0,94	0,75	0,36	0,44	0,43	0,49	0,54

Анализ корреляционной связи  $Y=F(X)$  показывает, что здесь имеет место линейная связь –  $Y=0.6X$  и коэффициент связи низкий,  $r=0,44$ . Это объясняется большим разбросом частных значений  $X$  и  $Y$  в экспериментах наблюдений. Анализ этих параметров показывает, что колебания в измерительных точках, установленных в объекте, в целом, близки.

Изучение отношения спектров колебаний, соответствующих гребню, средней части плотины и основанию плотины показало, что они изменяются в зависимости от частоты колебания. Абсолютное значение отношения спектров колебаний больше 1 в теле и на гребне плотины. Она свидетельствует о том, что материал тела плотины в сейсмическом отношении является более податливым. Узкий диапазон изменения параметров спектрально-частотного состава колебаний в теле плотины показывает, что плотина во время сейсмических колебаний испытывает упругие колебательные деформации.

**Заключение.** Проведенные сейсмологические исследования и первичная обработка сейсмических параметров, а также результата устойчивого инженерно-технического обеспечения режимной непрерывной работы системы АССН в теле плотины в 2019 году дали возможность провести анализ распределения количества землетрясений в разрезе текущего периода. Определены зависимости от азимута для каждого из выявленных интервалов, что показало, возможности роста количества землетрясений по расстоянию до эпицентра от створ плотины Чарвак. Выявлено, что количество землетрясений в зоне притока (северо восточно и восточное направление) всех рек, слагающих Чарвакское водохранилище, намного выше чем, ниже по течению р.Чирчик.

Долговременные значения  $\gamma$  гамма и  $A_{10}$  для ближних районов практически совпадают со значениями предыдущего года. Значения этих параметров несколько отличаются по периодам эксплуатации. Для всей зоны влияния Чарвакского водохранилища, при оценке распределения уровней повторяемости выделены более плотные сейсмоактивные зоны по направлению к юго-западу от него.

Изучение отношения спектров колебаний, соответствующих гребню, средней части плотины и основанию плотины показало, что они изменяются в зависимости от частоты колебания. Абсолютное значение отношения спектров колебаний больше 1 в теле и на гребне плотины. Она свидетельствует о том, что материал тела плотины в сейсмическом отношении реагирует на нагрузки как более податливая среда. При этом плотина во время сейсмических колебаний испытывает упругие колебательные деформации.

Обработка и анализ сейсмологических данных АССН и изучение динамических характеристик для оценки состояния Чарвакской плотины за 2019 год показало, что в течение года сильных изменений в динамических параметрах колебания плотины от землетрясений не наблюдалось.

## Литература

1. Закон РУз «О безопасности гидротехнических сооружений» - <http://uz.denemetr.com/docs/644/index-10924.html>
2. Ли А.А., Саямова К.Д., Ли А.В. Разработка и внедрение комплексных систем мониторинга для обеспечения безопасности и надежности ГТС. // Материалы Международной научно-технической конференции. MODERN PROBLEMS IN MECHANICS PROCEEDINGS 23-24 сентября 2009 г. Ташкент - с.340-344.
3. ШНК 2.0611-04.//Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения.-Ташкент: Госархитектстрой. 2004.
4. Хамидов Л.А. Линейная модель концентрации напряжений в разломах земной коры, находящихся в ближней зоне деформационного влияния крупных водохранилищ.// Проблемы сейсмологии.-Ташкент. 2019 №1. С.41-51.
5. Саямова К.Д., Турдикулов Х.Х., Мифтахова И.Р. расчет высокой грунтовой плотины с учетом напряженного состояния и порового давления (с учетом данных натурных наблюдений).// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.2019.№7.с.24-32.
6. Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений. М.Транспорт.1974. 164 с. УДК 550.34
7. Гришин М.М. Гидротехнические сооружения. ч.1 М.1979. 250с.
8. Мирсаидов М.М., Годованников А.М. Сейсмостойкость сооружений. Ташкент, «Узбекистан», 2008, 220 с.
9. Саямова К.Д., Митюлева В.В., и др. Рекомендации по обеспечению сейсмобезопасности гидротехнических сооружений в период эксплуатации.// Ташкент. Навруз. 2018. 168 с.
10. Хамидов Х.Л., Анварова С.Г., Ибрагимов А.Х. Некоторые результаты совершенствования системы сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища. // Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XI Междунар. конф. молодых ученых и студентов. В 2 т. Т. 1. – Бишкек: НС РАН. 2019. С.219-226.
11. Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Алимухамедов И.М., Хамидов Х.Л. Возможности совершенствования системы мониторинга сейсмичности в зонах Чарвакского и Андижанского водохранилищ.// Проблемы сейсмологии. Ташкент. 2019 №1.С.51-60.

**Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л.**  
Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз,

### ПАРАМЕТРЫ ЛОКАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИКИ БЛИЖНИХ ЗОН ВОДОХРАНИЛИЩ

**Xamidov L.A., Alimuxamedov I.M., Artikov F.R., Xamidov X.L.**

*O'zR Fanlar akademiyasi G'..O.Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti*

#### SUV OMBORLARI YAQIN HUDUDI LOKAL GEODINAMIKASINING PARAMETRLARI

**Аннотация.** Ishda seysmologik, geodezik va tektonofizik kuzatuvlar natijalariga asoslanib, yirik suv omborlari yaqin hududlarining mahalliy geodinamikasini ifodalovchi eng muhim parametrlar tahlil etilgan. Suv omborlari yaqin hududlarida zilzilalar tarqalishini tadqiq etib, ularning ko'plari tor va kichik hududlarda zich joylashgani aniqlangan. Geodezik ma'lumotlar tahliliga asoslanib, ichki kuchlar tarqalishi tasviridagi kuchlanishlar konsentratsiyasi manbalarini ifodalovchi ustama lokal energiyalarni baholash imkoniyati mavjudligi tushuntirilgan. Bu bilan yirik suv omborlaridan foydalanish davrida suv hajmi variatsiyasiga muvofiq uning asosi va jomi mos ravishda egilib bukilishi, hamda hudud siquvchi va tortiluvchi kuchlar domida bo'lishi ko'rsatilgan. Asos deformatsiyasining tektonik zilzila o'chog'i kritik deformatsiyalariga mos kelishi va bu suv ombori faol ta'sir hududi doirasidagi seysmik faol qatlamlar mahalliy gedinamik xarakterlarini o'zgartiruvchi regulyar kuchlanish va deformatsiyalanish maydoniga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir etishi mumkinligi asoslangan.

**Таянч so'zlar.** Parametr, geodinamika, seysmiklik, geodeziya, xarakat miqdori, kuchlanish, suv obori, tektonofizika.

**Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л.**

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз,*

#### ПАРАМЕТРЫ ЛОКАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИКИ БЛИЖНИХ ЗОН ВОДОХРАНИЛИЩ

**Аннотация.** В работе анализированы наиболее характерные параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ, проведя обобщение результатов сейсмических, геодезических и тектонофизических наблюдений. Исследованием распределения очагов землетрясений для ближних зон водохранилищ выявлена концентрация большого количества местных очагов в определенных узких участках. Анализируя результаты геодезических измерений, объясняется, что картины распределения

внутренних усилий могут отражать то состояние распределения напряжений в ближней зоне водохранилищ, по которым возможно оценить дополнительную локальную энергию, способную в разрывных зонах образовать дополнительные источники концентрации напряжений. Этим показано, что при эксплуатации крупных водохранилищ его основание и чаща находятся в постоянно действующих нагрузках сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания основания от вариации объема. Деформации основания могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярное напряженно-деформированное состояние и локальных геодинамических движений вблизи лежащего сейсмически активного слоя земной коры в пределах зоны активного влияния водохранилищ.

**Ключевые слова.** Параметр, геодинамика, сейсмичность, геодезия, смещения, напряжения, водохранилище, тектонофизика.

**Khamidov L.A., Alimukhamedov I.M., Artikov F.R., Khamidov H.L.**

*Institute of Seismology G.A. Mavlyanova AN RUz,*

#### **PARAMETERS OF LOCAL GEODYNAMICS OF THE NEAR ZONES OF RESERVOIRS**

**Annotation.** The paper analyzes the most characteristic parameters of the local geodynamics of the near zones of reservoirs, generalizing the results of seismic, geodetic and tectonophysical observations. A study of the distribution of earthquake foci for the near zones of reservoirs revealed the concentration of a large number of local foci in certain narrow areas. Analyzing the results of geodetic measurements, it is explained that the patterns of distribution of internal forces can reflect the state of stress distribution in the near zone of reservoirs, from which it is possible to estimate additional local energy, which can form additional sources of stress concentration in discontinuous zones. This shows that during the operation of large reservoirs, its base and thicket are in constantly acting compressive and tensile loads of the corresponding intensity of the base flexion amplitudes from volume variations. Base deformations can correspond to ultimate tectonic focal deformations that directly affect the regular stress-strain state and local geodynamic movements in the vicinity of the seismically active layer of the earth's crust lying within the active influence zone of the reservoirs.

**Keywords.** Parameter, geodynamics, seismicity, geodesy, displacement, stress, reservoir, tectonophysics.

**Введение.** Исследование физического состояния недр ближних зон крупных водохранилищ является одним из приоритетных вопросов для организации контроля геодинамической обстановки в зонах активного влияния крупных гидротехнических сооружений. В Узбекистане действуют более 50 водохранилищ, предназначенных для разных целей экономики. Более 70% из этих водохранилищ находятся в горной зоне. Зоны их расположения отмечены достаточно высоким уровнем фоновой сейсмичности [1,2,3,4]. Изменения объема воды в водохранилищах при их интенсивной эксплуатации может создать достаточно соизмеримые с очаговыми деформациями изменения напряженного состояния в зоне их активного влияния [4]. Поэтому, нами в предыдущие десять лет была организована основа геодинамического мониторинга в зонах крупных водохранилищ Узбекистана. Исходя из возможностей, где непрерывно, а где эпизодично, были проведены сейсмометрические, геодезические и тектонофизические исследования. При этом основной упор делался на результаты сейсмического мониторинга. Геодезические или тектонофизические исследования проведены как сопутствующие. Аппаратурная обеспеченность их было весьма ограниченной. Больше опиралось на практику проведения таких оценок в зонах крупных водохранилищ мира, где обнаружены техногенные сейсмические процессы. В настоящей работе анализированы наиболее характерные параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ, обобщая результаты сейсмических, геофизических и тектонофизических наблюдений за предыдущие годы. Поэтому основной целью является поиск возможностей выявления закономерностей развития локальных геодинамических процессов в зонах деформационного влияния крупных водохранилищ.

**Метод исследований.** В работе использованы методы оценки локальной сейсмичности, методы определения современных движений на базе цифровой регистрации смещений в зонах влияния объектов и методы тектонофизических определений направления главных напряжений, связанных с землетрясениями в зонах крупных водохранилищ Узбекистана.

**Локальная сейсмичность.** Локальная сейсмичность для ближних зон водохранилищ, как правило, определяется уровнем изменением сейсмичности. Резкое изменение количества сейсмических событий в периоды эксплуатации водохранилищ могут быть одним из показателей техногенного влияния. Их можно выявить, исследуя изменения количества землетрясений в ближних зонах, выделяя из местных каталогов землетрясений. К сожалению, в настоящее время полный и унифицированный каталог локальных землетрясений для территории крупных

водохранилищ Республики Узбекистан отсутствует. Как правило, каталоги землетрясений составляются по всей территории Республики Узбекистан, начиная с магнитуд  $M=3$  и более Республиканским Центром сейсмопрогностического мониторинга при МЧС РУз [5]. Сведения о сейсмических событиях, которые можно отнести к территориям наиболее интенсивно эксплуатируемых водохранилищ Узбекистана (например, Чарвакский, Андижанский, Гиссаракский, Пачкамарский и Тупалангский) с высокой плотностью разрозненно содержатся в работах разных авторов [1,3,4,6]. Одно из немногих попыток обобщить данные о локальной сейсмичности этих водохранилищ Узбекистана была предпринята в работах [1,3]. Однако, часть сведений о землетрясениях, представленных в этих каталогах, представляются спорными. Среди прочего авторами приводятся события, эпицентры которых не расположены непосредственно в ближней зоне водохранилищ, а являются лишь проявлениями крупных тектонических землетрясений, произошедших в активных сейсмических поясах Тянь-Шаня и Памирского орогена. Нами проведен анализ всех доступных каталогов местных землетрясений, содержащих сведения о сейсмичности ближних зон крупных водохранилищ Республик Узбекистан. Отбракованы события, относящиеся к дальним территориям. Исключены недостоверные данные, являющиеся результатом прохождения волн от ближних взрывов и некоторых транзитных низкочастотных землетрясений. Введение нами в эксплуатацию в 2007 году нового цифрового сейсмического мониторинга в водохранилищах Чарвак, Гиссарак и Тупаланг дала возможность проведения этих работ. Она была основана на регистрации представительных сейсмических колебаний от небольших актов хрупкого разрушения при бортовом породном массиве [7,8,9]. Предыдущие попытки организации сейсмического мониторинга в плановом режиме не были успешными, главным образом, из-за технических ограничений. Сегодня получен ряд новых, интересных результатов для исследования локальной сейсмичности зон водохранилищ, которая дала возможность составления каталогов землетрясений локальной зоны (т.е. зон деформационного влияния водохранилищ).

Мониторинг сейсмичности по Чарвакскому, Гиссаракскому и Тупалангскому водохранилищам показал, что картины распределения землетрясений с энергетическими классами  $K \geq 7$  наиболее контрастно могут отображать состояние изменения уровня сейсмичности обусловленной эксплуатацией [6,7]. Продолжая начатый нами в 2008 году программу сейсмического мониторинга, для получения данных за полный (в разрезе годового цикла) рабочий период работы плотины до 2019 года, т.е. режим «наполнение-опорожнение», в зонах этих водохранилищ установлена многоканальная система сейсмомониторинга. Она расширила возможности аналитической обработки сейсмических данных с наблюдаемыми диагностическими параметрами в рамках инженерно-сейсмометрической системы наблюдений в зонах водохранилищ Узбекистана.

Это позволило, наряду с получаемыми данными натурных наблюдений, проводить в определенном смысле начальный анализ состояния локальной сейсмичности каждого водохранилища в отдельности при возможных различных режимах работы сооружения. В период эксплуатации водохранилищ инженерно-сейсмометрические наблюдения проводятся в соответствии с требованиями ШНК 2.06.11-04 если плотина относится к сооружениям 1 класса капитальности и расположена в зоне высокой сейсмичности - 8 баллов [10].

Сбор информации о наиболее крупных техногенных объектах - водохранилищах Восточного и Южного Узбекистана производилось для анализа параметров сейсмичности в разные интервалы до, во время и после строительства наиболее крупных водохранилищ Чарвакского, Гиссаракского и Тупалангского [11].

Выявляется концентрация большого количества местных очагов в определенных узких участках ближних зон водохранилищ. Она показала, что картины распределения внутренних усилий могут отражать то состояние распределения напряжений в ближней зоне водохранилищ, по которым можно оценить возможную дополнительную энергию, способную в разрывных зонах образовать дополнительные источники концентрации напряжений. Выполненные предварительные расчеты значений давления воды на дно водоема и попытки изучения характера распределения напряжений во вмещающей среде [10,56] показали, что эти источники концентрации напряжений, при за критических деформациях, могут свести напряженно-деформированное состояние к разрывообразованию в подстилающих толщах чаши водохранилища [12,13].

*Чарвакское водохранилище (Ташкентский вилоят).* Водохранилище Чарвак расположено на территории Бостанлыкского района Ташкентской области. Оно находится на реке Чирчик несколько ниже по течению в месте слияния рек Пскем и Чаткал, между отрогами Угамского и Чаткальского хребтов западного Тянь-Шаня. Водохранилище образовано каменно-насыпной плотинной высотой 168 м Чарвакской ГЭС. Уровень водохранилища значительно понижается в летний период времени, так как его вода используется для задач ирригации и поливного земледелия в долине Чирчика. Водохранилище находится в узловой зоне примыкания рек Чаткал, Пскем и Коксу Приташкентского геодинамического полигона западного Тянь-Шаня.

В рисунке 1 показано распределение землетрясений в радиусе 100 км от Чарвакского водохранилища по каталогу местных землетрясений за 2005-2019 годы, построенным нами.

Основание водохранилища пересекают ряд сейсмоактивных разломов, такие как Пскомский, Кумбельский и Каржантауский. В этой зоне происходили Бручмуллинское (1959), Ташкентское (1966), Денапское (1974), Таваксайское (1977), Назарбекское (1980), Ташкентское (2008), Туябугузское (2013) землетрясения с магнитудой  $M \geq 5$ . Зона по сейсмичности оценена 8-9 балльной по шкале MSK-64.

При убывании высоты полезного объема водохранилища максимальные деформации пропорциональны уменьшению первоначальной нагрузки [14,15].

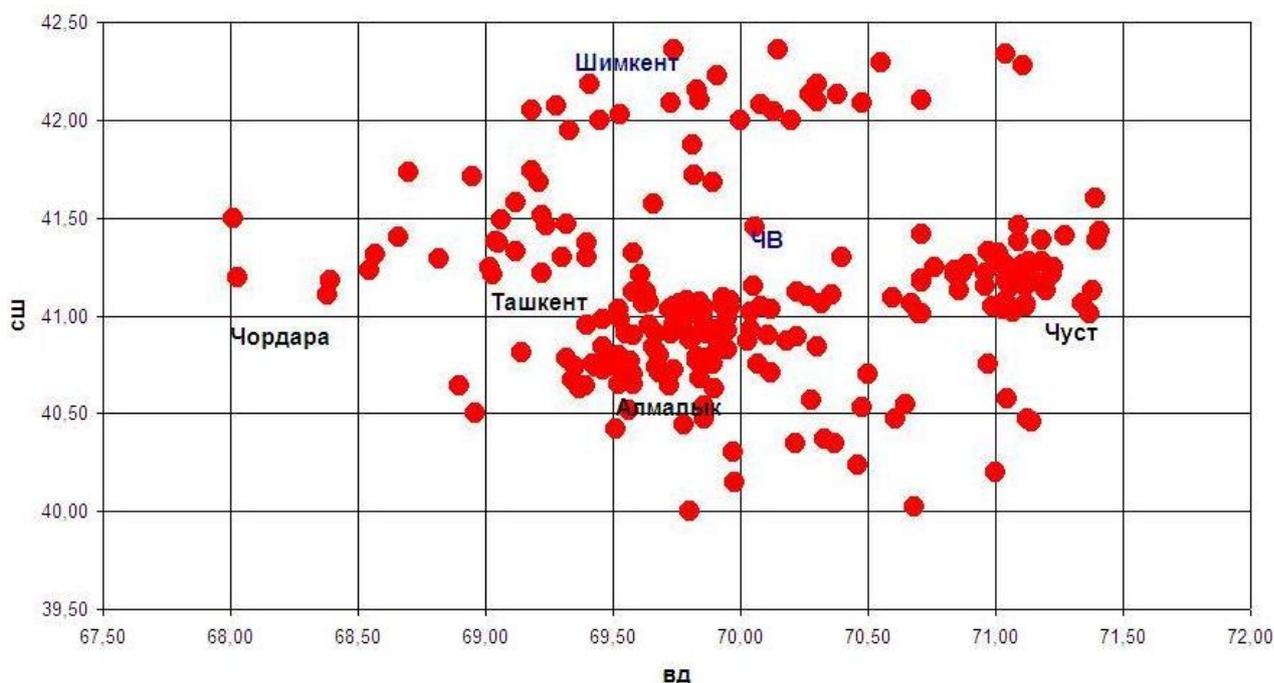


Рис. 1. Распределение землетрясений в радиусе 250 км (согласно требованиям [10]) от водохранилища Чарвак в период интенсивной эксплуатации (2005-2019 гг.)

Они также могут влиять и на уровень местной сейсмичности. Землетрясения в районе Чарвакского водохранилища изучаются давно. Однако накопление систематических сведений о них начато лишь с открытием сети сейсмических станций. Влияние Чарвакского водохранилища в целом на сейсмичность Приташкентского района можно определить, сопоставляя среднесрочные параметры сейсмического режима и их вариации за отдельные периоды времени. Пространственная картина проявления сейсмичности хорошо видна при анализе карт эпицентров (рис.1). В Приташкентском районе за период от начала детальных сейсмологических наблюдений до начала эксплуатации гидросооружения в рабочем режиме выделены несколько зон концентрации эпицентров [4,7,16]: в северо-восточной части района, где непосредственно расположено Чарвакское водохранилище. Заметим, что здесь проводились взрывные работы и возможно высокая концентрация толчков связана с тем, что в каталог занесена часть взрывов. Карта эпицентров землетрясений с энергетическим классом  $K \geq 8$  непосредственно в зоне влияния Чарвакского водохранилища за 1973-1999 гг. и 2013-2019 гг. отражает распределение эпицентров

за период после строительства и введения в эксплуатации водохранилища.

Здесь ранее в 1977 году происходили два землетрясения средней силы  $K=11,3$  и  $K=11,7$  и на юго-востоке от Чарвака в этом же году произошло Таваксайское землетрясение. Через 10 лет землетрясение с  $K=12$  произошло в 30 км северо-западнее Чарвака. На карте эпицентров, за последние 10 лет выделяется несколько групп эпицентров произошедших землетрясений в 15-40 км от водохранилища. В 2010 г. произошло землетрясение с  $K = 11,4$  в 37 км северо-восточнее. Спустя год, в 2011 году южнее, произошло землетрясение с  $K = 11,6$ . И в 2013 г. восточнее (90 км), землетрясение с  $K>13$  (Туябугузкое). Большинство сильных землетрясений в зоне влияния Чарвакского района произошли в этой же зоне. При анализе аналитических карт распределения землетрясений можно отметить, что значения сейсмической активности периода до строительства были выше, чем это наблюдается за весь период и период эксплуатации. Это означает об общей тенденции сейсмической активности к убыванию по всей изучаемой территории.

Гиссаракское водохранилище (Кашкадарьинская область) находится в среднем течении р. Аксу, берущее своё начало в горах на северных склонах Гиссарских горных систем. Долина реки, где расположено водохранилище, характеризуется крутыми бортами, большими уклонами русел, сравнительно малым сохранением террасовых поверхностей, слабым распространением молодых четвертичных отложений. Основание плотины Гиссаракского водохранилища расположено в едином тектоническом блоке, и в зонах сейсмичностью 7 и 8 баллов. При детальном изучении сейсмичности исследуемой площади были выявлены слабые местные землетрясения с  $K\leq 8$ . Согласно каталогу местных землетрясений, составленных нами за 2019 год, достаточно контрастно в зоне влияния выделяется зона проявления местных очагов с малым энергетическим классом (рис.2). Известно, что поведение параметра  $\gamma$  (угол наклона графика повторяемости) во времени укладывается в рамки качественной теории подготовки землетрясения [7]. Можно полагать, что увеличение  $\gamma$  связано с усилением слабой сейсмичности в области будущего сильного землетрясения, а последующее уменьшение вызвано объединением разрывов и образованием более крупных. В период начала заполнения водохранилища, максимальное заполнение было в 1987 году  $H=100$  м. С 1987 по 2008 года в период исследований М.А.Шукурова  $K=9\pm 12$   $\gamma=0,52\pm 0,05$  [17].

Из рассмотрения вышеназванных значений наклона графика повторяемости  $\gamma$  видно, что расхождение в значениях  $\gamma$  лежит в пределах ошибок. Это позволяет говорить о зависимости сейсмического режима от режима заполнения водохранилища.

Когда мы проводили исследования в [16] и 2019 году во время устойчивой режимной эксплуатации водохранилища для периода с 2017 по 2019 г. в диапазоне  $8\leq K\leq 12$  угол наклона повторяемости  $\gamma=0,48\pm 0,07$  (табл.1).

Таблица 1. Значение параметров графика повторяемости Гиссаракского района

№	Периоды наблюдений	Класс К	Значение $\gamma$	Примечание
1	1987-2009 гг.	9÷12	0,52±0,05	в период исследований М.А.Шукурова [17]
2	2010-2016 гг.	8÷13	0,48±0,07	В период наших исследований [19]
3	2017-2019 гг.	8÷12	0,50±0,08	Последние определения

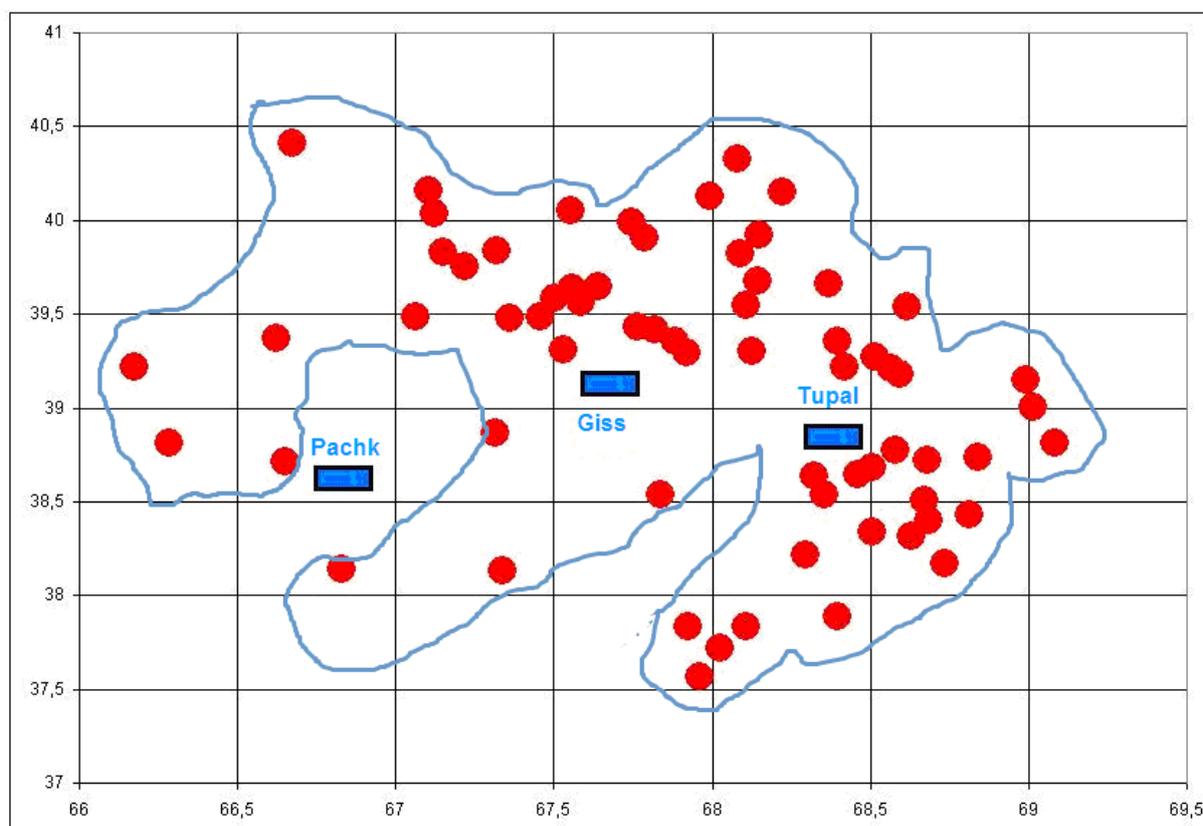
Из вышеприведенного следует, что в районе Гиссаракского водохранилища при увеличении его объема происходит малые изменения угла наклона повторяемости землетрясений  $\gamma$  видима за счет роста количества землетрясений с низкими энергетическими классами.

Тупалангское водохранилище (Сурхандарьинская область, Южный Узбекистан). Территория Тупалангского водохранилища расположена в южной части Гиссарского горного хребта в ближней зоне Южно-Тянь-Шанского разлома, в переходной зоне к Памирскому орогену и ограничена хребтами с запада Сурхантау и с востока Мачетли. Соответственно створ плотин расположен в зоне 8 и 9 балльной сейсмической интенсивности. В этом районе происходили сильные и разрушительные землетрясения как Каратагское силой 9-10 баллов ( $M\geq 7$  и эпицентр

расположен очень близко к водохранилищу), Байсунское 8-9 баллов (в 80-90 км к юго-западу от водохранилища) и Чуянчинское (в 70-80 км к северо-востоку от водохранилища) с  $M \geq 6$ .

По этим водохранилищам, включая *Пачкамарское (Кашкадарьинский вилоят)*, нами выявлено, что характер эксплуатации водохранилищ может оказать влияние на интенсивность трещинообразования в массивах пород [3,4,8,14]. Исследования локальной сейсмичности, проведенные в период 1973-1981гг, и в последующие годы показали, что территория характеризуется высокой сейсмичностью, где могут происходить землетрясения силой 9 баллов ( $M \geq 7$ ). По оценкам региональных оценок установлено, что землетрясения силой 7, 8 и 9 баллов ( $M \geq 5$ ) для зон расположения водохранилищ Южного Узбекистана имеют тенденцию повторения один раз в 300 лет, 1000 лет и 4000 лет соответственно [3].

Режим эксплуатации с 2010 года по середину 2016 года и время землетрясения с разными энергетическими классами в ближней зоне водохранилища за 2010-2015 годы согласно каталогу местных землетрясений показаны на рис.3. Как видно на рис.3, каждому пику столба напора воды соответствуют землетрясения определенного класса энергии. Если их принять как индуцированными от эксплуатации водохранилища, то и распределение энергии  $lgE$ , значения суммарных сбросов напряжений от этих землетрясений  $\Delta\sigma$  и вариации при этой деформаций  $\delta\epsilon$  должны быть функционально зависимыми [12].



Условные обозначения: 1 - очаги землетрясений; 2 - зоны водохранилищ; 3 - сокращенное название водохранилища (Pachk-Пачкамарское; Giss-Гиссаракское; Tupal-Тупланское); 4 - зона активного проявления землетрясений.

Рис.2. Распределение землетрясений в зонах деформационного влияния водохранилищ Южного Узбекистана.

Например, изменение количества землетрясений по месяцам в 2013 году и давления на основание водохранилища, вычисленное нами 2017 году для дальней и ближней зоны возможного влияния Гиссаракского водохранилища, показано в рисунках 4 и 5.

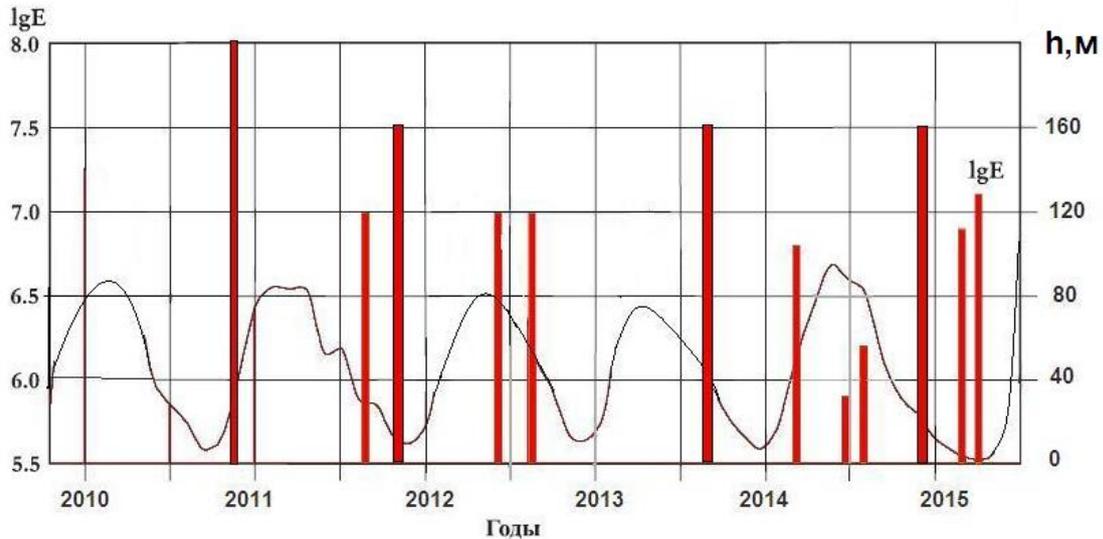


Рис. 3. Усредненный эксплуатационный режим Гиссаракского водохранилища и время землетрясения с разными энергетическими классами в ближней зоне водохранилища с 2010 года по середину 2015 года

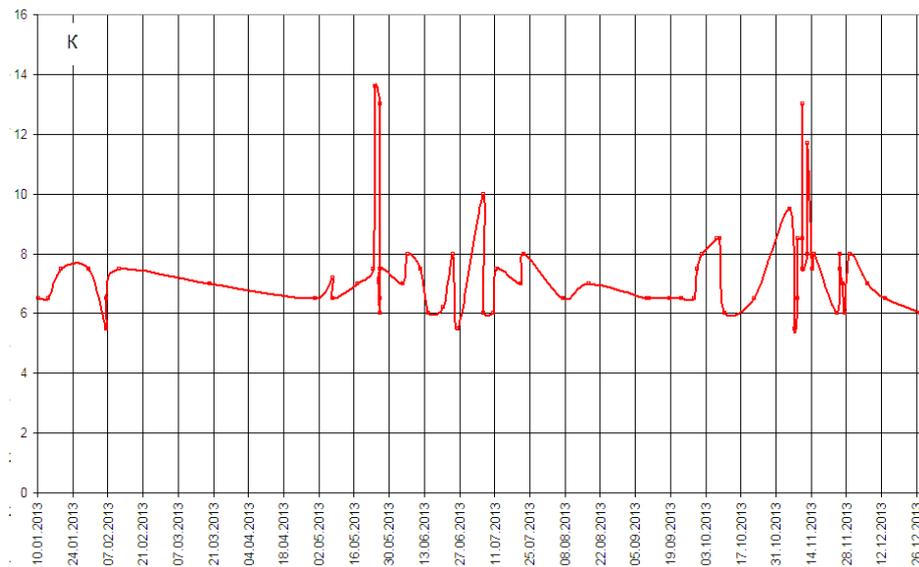


Рис. 4. Землетрясения, зарегистрированные (К - энергетический класс) в радиусе 250км в зоне активного влияния Гиссаракского водохранилища

Эти же расчеты проведены для центральной части Южного Гиссара (Пачкамар и Тупаланг). На основании указанного выше сравнения данных выделена ориентация действующих напряжений в регионе. Она получается направленным под определенным углом к северо-западу. В большинстве случаев наблюдается совпадение измеренных данных с расчетными, проведенными в 2014 и 2017 годах. Поэтому ограничится только лишь ориентацией движения в северном направлении, видимо является недостаточной.

Анализ тенденции показывает, что когда суммируется ориентация векторов главных напряжений по каждой зоне (рис.6), тогда получится более точное направление основного вектора. Так как локальные векторы главных напряжений близки параллельным, то получилось, что ориентация основных векторов напряжений, влияющих на район расположения Гиссаракского водохранилища и разломов Гиссарских гор, является север северо-западным (это с большой

шероховатостью придерживается и в зонах водохранилищ Тупаланг и Пачкамар).

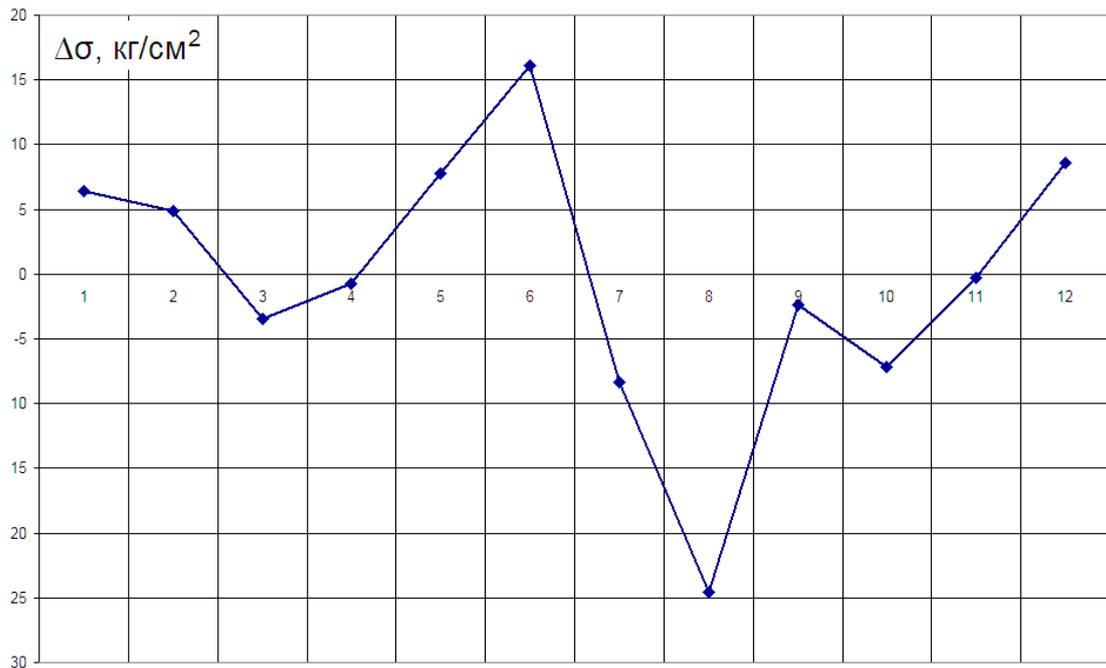


Рис. 5. Вариация давления (продольные напряжения  $\Delta\sigma$ ) на горные породы основания в 2013 году по месяцам вычисленная в 2017 году для дальней и ближней зоны возможного влияния Гиссаракского водохранилища.

На рис.6 показано расстояние от водохранилища до эпицентра землетрясений за 2017 год для зоны активного влияния Гиссаракского водохранилища.

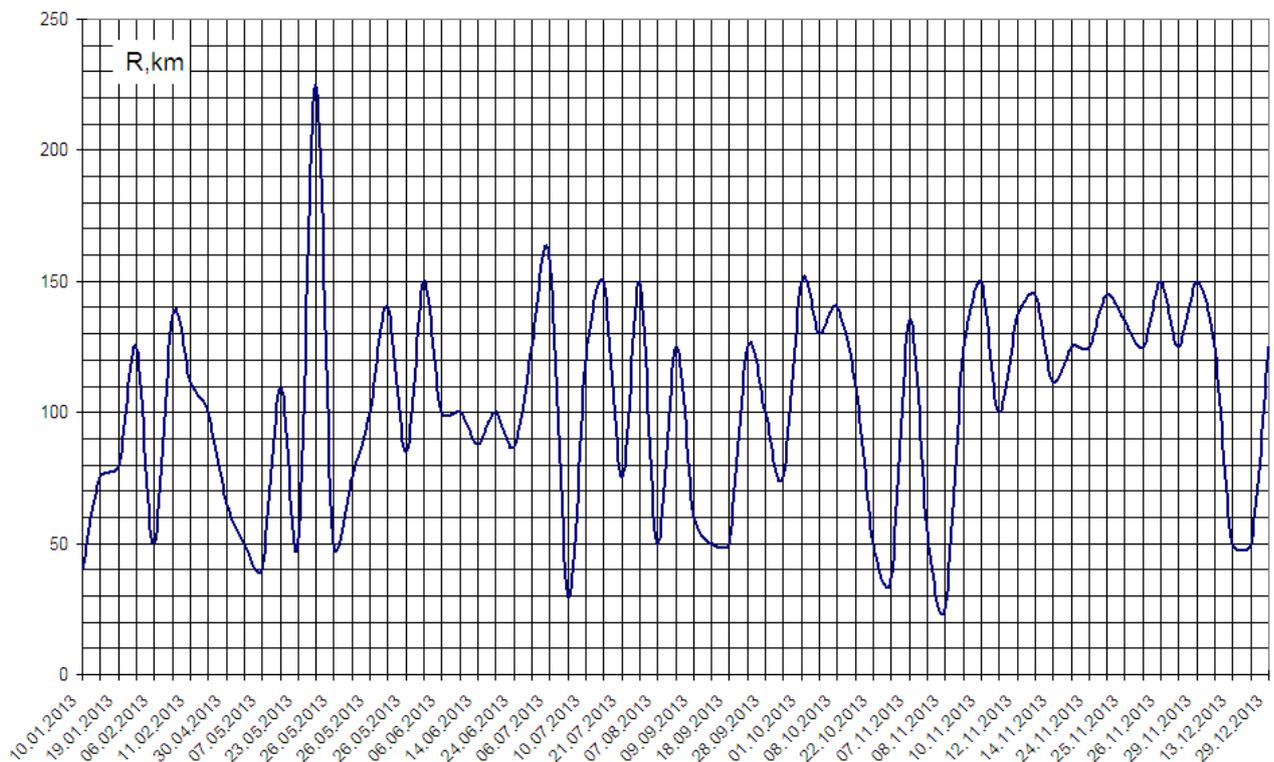


Рис. 6. Расстояние R (км) от водохранилища до эпицентра выше указанных землетрясений по месяцам за 2017 год для дальней и ближней зоны Гиссаракского водохранилища.

Анализируя возможность инициированного сдвига по тектоническим нарушениям, которые выделяются на расчетной схеме водохранилища Гиссарак, определяется аналитическая связь с вариацией нагрузки-разгрузки. В результате использования решения упругой задачи нами было определено напряженно-деформированное состояние горного массива с нарушениями в исходном состоянии и при снижении пластового давления вследствие эксплуатации [15,16,17,18]. При этом в граничных элементах, моделирующих нарушения, упругие свойства пород задавались с коэффициентом структурного ослабления  $K_{cmp}=0,5$  относительно окружающих пород.

По каждому из нарушений из общего тензора напряжений вычислялись нормальные, касательные напряжения, а также относительные касательные смещения бортов разлома  $u_i$ . Возможность неустойчивого сдвига бортов определяется параметрами напряженного состояния и прочностными характеристиками пород разлома. Принималось, что в плоскости разлома сцепление отсутствует, а угол внутреннего трения составляет  $k_{cp}=\varphi_{cp}=25^\circ$ , т.е. возможность сдвига возникает, если действующие касательные напряжения превышают предельное значение, которое находится как  $\sigma_p = \tau_n \operatorname{tg}\varphi_{cp}$ . Расчетные данные показали, что в других нарушениях условий для сдвига не возникает, т.к. в нарушениях, близких к вертикальному, касательные напряжения невелики. Поэтому, условия для сдвига возникают во внутренних нарушениях, т.к. действующие касательные напряжения превышают предельное значение. Они видимо являются причиной возникновения вне фоновых сейсмических источников.

**Локальные движения по геодезическим данным.** Определение природы современных движений земной коры, выбор моделей, описывающих смещение земной поверхности при площади нагрузки от единиц до десятки квадратных километров, и получение упругих параметров среды является необходимым при исследовании локальной геодинамики ближних зон действующих водохранилищ. На поверхности Земли большие изменения происходят, как правило, динамикой инженерно-геологических процессов, отражающих реальные изменения в поле действующих смещений в зависимости от изменения объема воды в водохранилищах. В.Ю.Тимофеева, Ардюкова Д.Г. и др., исследуя оценки движений в ближней зоне Саяно-Шушенского ГЭС (Хаккасия, Россия) при локальных размерах нагрузки для измерений смещений, предложили метод нивелирования наиболее подходящим для оценки смещений в четвертичных отложениях [19]. Авторами показано, что для оценки локального нагружения применяются методы космической геодезии (метод глобального позиционирования - GPS). Полученные величины эффективных упругих модулей используются при моделировании: техногенных эффектов в зоне эксплуатации водохранилищ исследуемого региона.

Периодические гидробарические нагрузки, региональные и локальные вертикальные смещения и упругие модули среды можно рассчитать, используя предложенные ими модели [19]. Модель в данном случае получим для случая упругого нагружения известного решения для плоской задачи теории упругости в полярных координатах – действие сосредоточенной силы на полуплоскость (задача Фламана или Миндлина) для получения распределения напряжений в полупространстве [20,21].

При этом величина опускания зависит от размера области нагружений и упругих параметров среды. Оценим максимальные вариации нагрузки. Как отмечали в [18,21] в простейшем случае, для локальных масштабов, основание водохранилищ можно моделировать упругим полупространством, пусть деформация мгновенно следует за изменением давления. В этом случае нагрузка моделируется следующим распределением избыточного давления [18,19]:

$$p = p_0 \left( 1 + \frac{r^2}{r_0^2} \right)^{-3/2}, \quad (1)$$

где  $p_0$  - нагрузка в центре;  $r$  - расстояние от центра нагрузки;  $r_0$  - расстояние от центра, на котором  $|p|$  уменьшается в  $e$  раз. Для решения в цилиндрических координатах величина вертикального смещения земной поверхности равна:

$$u_z = u_0 \left( 1 + \frac{r^2}{r_0^2} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

где  $u_0 = \frac{1-\nu}{\mu} p_0 r_0$ ,  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\mu$  - модуль сдвига.

Расчетами в [19] выявлено, что изменения давления и смещений в зависимости от расстояния можно изобразить как на рисунке 7.

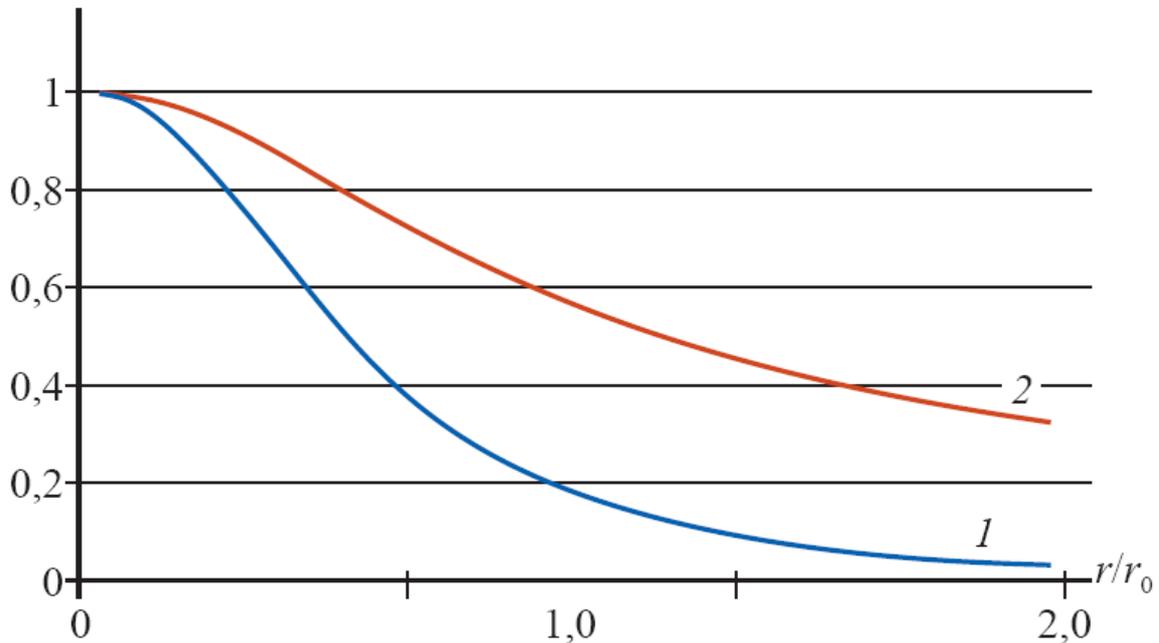


Рис. 7. Изменения нормированных значений нагрузки ( $p/p_0-1$ ) и вертикального смещения ( $u_z/u_0-2$ ) в зависимости от расстояния до центра нагрузки  $r/r_0$  по соотношениям (1) и (2) [18,19,20,21]

Согласно этому наибольшее касательное напряжение достигается на глубине:

$$z = \frac{2+2\nu}{7-2\nu} r_0, \quad (3)$$

и равно  $\tau_{\max} = \frac{1}{36} \left( \frac{7-2\nu}{3} \right)^3 p_0$ , т.е. при  $\nu = 0,25$   $z = 0,38r_0$  и  $\tau_{\max} = 0,29p_0$ .

Решение задачи о вариациях при эксплуатации имеет важное значение для технологии проведения измерений методом космической геодезии. Особенно, когда она охватывает несколько зон действия водохранилищ расположенных в одной сейсмогеодинамической зоне, такого как Приташкентская или Ферганская. Методы расчетов стандартны: на первом этапе определяются нагрузочные числа Лява, далее определяется упругая реакция среды на поверхностную точечную нагрузку, определяются функции Грина [18]. Полученные величины эффективных упругих модулей могут быть использованы при моделировании эффектов нагружений земной коры от локальных, техногенных эффектов в зоне эксплуатации крупных водохранилищ, от сейсмических эффектов при расположении гипоцентра землетрясения на разных глубинах и тектонических деформациях локальных плит Земли. В настоящее время по данным GPS измерения Национальным центром геодезии картографии (НЦГК) РУз в Приташкентском и Ферганском геодинимических полигонах имеются инструментальные количественные данные по смещению земной коры и ранее использованные методы по отдельным линиям повторного нивелирования (рис. 8) [22].

В этой зоне в 2015-2017 годах нами совместно с НЦГК РУз рассмотрены состояние инструментальных GPS измерений и эмпирические оценки смещений от землетрясений и собраны количественные данные по смещению земной коры для ближних зон водохранилищ. В Ферганском геодинимическом полигоне установлены стационарные Leica 1200 GPS приборы (погрешность прибора 2мм по горизонтальным перемещениям и 5мм по вертикальным).

Дополнительные стационарные GPS приемники установлены на Янгибазарской

обсерватории, они тоже работают в указанном режиме. Кроме него, была возможность обеспечить включение на определенном этапе станции Ташкент, Наманган и др. Вышеуказанные приборы могут работать при одинаковых интервалах времени и параметрах. Сегмент состоит из станций TASH, YNGB, NAMG и FERG, включая SAMR. Файлы наблюдений являются соответственно частотными с интервалом записи 5 секунд с углом маски  $10^\circ$ . Выбор разницы смещений с опорными выделены по схеме рис.9.

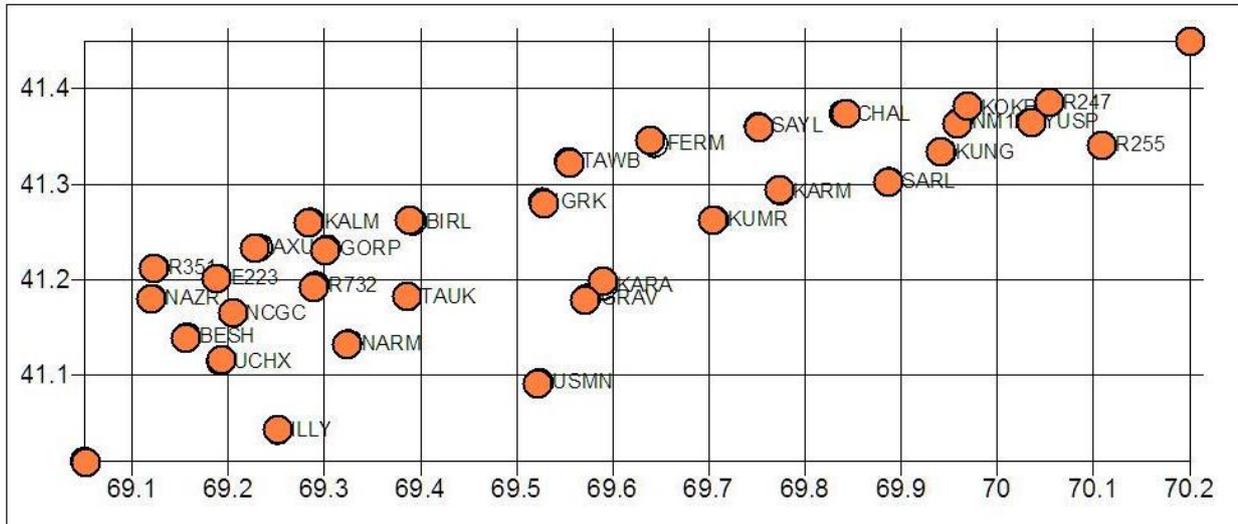


Рис. 8. Схема расположения GPS пунктов (●) на Приташкентском геодинимическом полигоне.

Данные по этой схеме в дальнейшем вводились в СУБД базу данных ARCGIS. Наиболее постоянно действующая - Ферганская и Янги-Базарская станции. В первое время частота опросов локальной GPS сети достигала 3-4 раза в год. В 2015 г. проведено расширение и составление профилей уплотнения локальной сети до 24 пунктов с нестационарными точками временных измерений в пределах 2-3 суток.

В настоящее время регулярные измерения проводятся в пункте 3 в каждом в интервале срочных опросов (2-3 месяца). В частности оно было проведено в июне-августе 2015 и июле-августе 2016 года. Нестационарные пункты измерений находятся друг от друга на расстоянии от 2 до 20 км. Среднее расстояние стационарных станций от 120 до 240 км [22]. В разностях длин векторов определены смещения по отношению выбранных опорных пунктов измерений.

Оценка скоростей современных движений для изучения проявления сильных землетрясений и других геодинимических явлений в периферийных границах тектонических блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений строятся по результатам наблюдений на четырех стационарных GPS станциях Восточного Узбекистана и геодезической сети Центральной Азии. В основу оценки скоростей положен анализ временных рядов координат GPS станций, вычисляемых из первичных данных, которые представляют собой наборы фазовых и кодовых измерений на двух частотах продолжительностью 24 часа с интервалом регистрации 30 с.

К набору измерений (stationary) на станциях NAMF, TASH, FERG включены данные двух близко расположенных опорных станции стационарно действующей сети: SAMR (Самарканд) и KIT (Китаб). Выбранные опорные станции с указанной кодировкой входят в реализацию международной земной отсчетной основы ITRF2008 [23]. В действующих стационарных станциях (mobile) проведение измерений проводится дискретным, в установленном временном интервале и соответствующим шагом по расстоянию. Первичные оценки компонент скоростей и векторов горизонтальных движений GPS станций Восточного Узбекистана региональной сети и опорных станций сети IGS, расположенных на Приташкентском и Ферганском геодинимических полигонах, показали, что временные ряды координат характеризуются сезонными вариациями, наиболее выраженными для вертикальных компонент.

Сеть в Приташкентском и Ферганском геодинимических полигонах заложена в 2010-2015

годах и состоит из 4-х пунктов: Ташкент (TASH), Янги-Базар (YNGB), Наманган (NAMG) и Фергана (FERG) (рис.9).

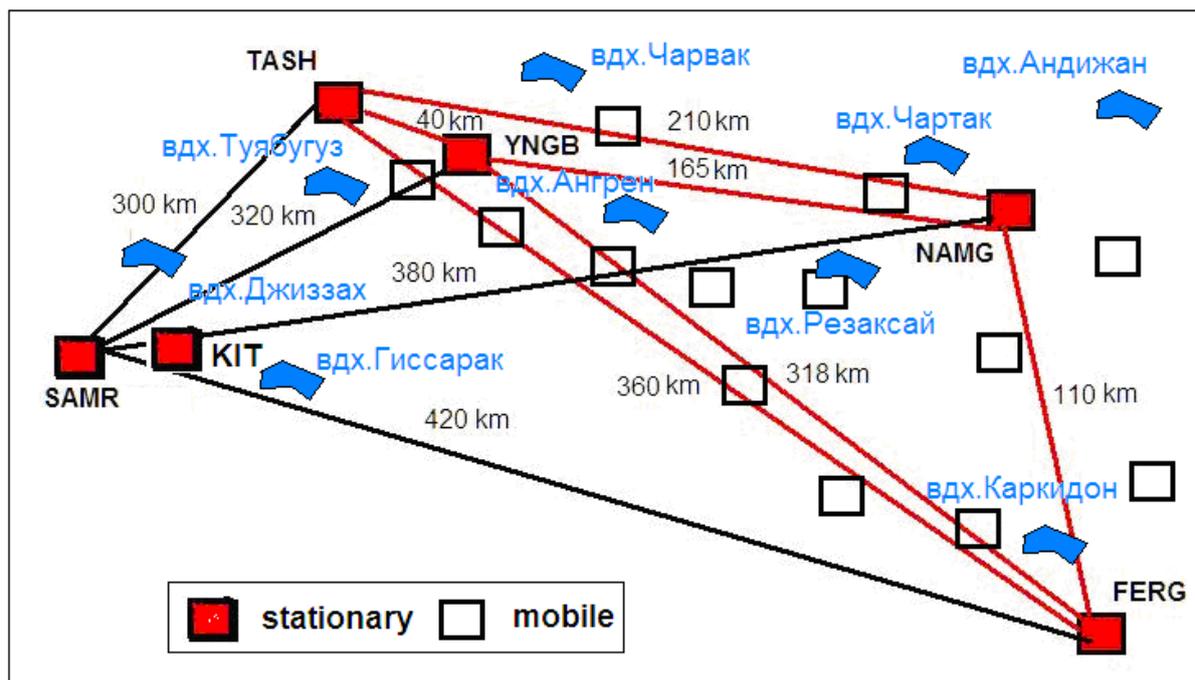


Рис. 9. Схема пунктов GPS измерения ИС АН РУз и НЦГК РУз (расстояния между пунктами и расположение водохранилищ условные)

Характерным аспектом поля скоростей периферийной зоны блоков Ферганской долины является ускоренное горизонтальное смещение в северо-восточном направлении практически с одинаковыми скоростями. Дополнительный стационарный GPS приемник установлен на Янгибазарской обсерватории, он тоже работает по вышеуказанному режиму. В субширотной станции Китаб Кашкадаринской области работает опорный GPS приемник. Все измерения уравниваются с этим опорным приемником.

Кроме них работают на определенном этапе станции Ташкент, Наманган и др. Вышеуказанные приборы работают при одинаковых интервалах времени и параметрах. Подобным движением характеризуется Северо-Ферганский разлом и субвосточное направление Южно-Ферганского разлома, примыкающей к Сохской зоне. Опорные станции в центральных частях (SAMR, КИТАБ) также движутся в северо-восточном направлении, однако скорость их несколько меньше. Скорость движения опорной станции FERG значительно превышает все остальные [22].

Для кинематического анализа приведенных различий скоростей движение всех указанных станций соотнесено с движением Западно-Чаткальской периферийной зоны, представленной станцией YNGB. Для определения параметров движения YNGB использован набор опорных станций по SAMR, TASH и FERG. Опорные станции выбираются таким образом, что их скорости характеризуются взаимной согласованностью в рамках модели, описывающей мгновенное движение целостного недеформируемого сегмента сферической поверхности как вращение относительно общего полюса Эйлера. Условием такой согласованности является существование общего для всех пунктов вектора Эйлера, векторное произведение которого с радиус-вектором пункта определяет скорость каждого пункта.

Движение опорных станций TASH и YNGB, расположенных в западном Чаткале, закономерно соответствует средней кинематике Восточного Узбекистана (в пределах погрешностей измерений), так как эти станции входят в число опорных станций, определяющих ее стабильную внутреннюю часть. В то же время станции внутреннего поля Ферганской долины, а так же станция YNGB при совмещении, характеризуются избыточными значениями скоростей 4–8 мм/год по отношению к расчетным значениям, вытекающим из принятой модели движения.

Данные отличия проявляются в виде остаточных смещений пунктов GPS при

трансформации из ITRF2008 в систему отсчета. Оно связано с принятой нами неподвижной Западно-Тянь-Шаньской (SAMR) точкой. Это отличие показывает, что современное относительно более быстрое смещение периферийных границ тектонических блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений обусловлены общим тектоническим движением Восточного Узбекистана.

Результаты изучения проявления сильных землетрясений и других разрушительных геодинамических явлений в пределах периферийных границ тектонических блоков Центральной части Ферганской долины на фоне измеренных смещений показали, что равнинная часть характеризуется небольшими вертикальными движениями.

Наибольшую скорость подъема демонстрирует горная часть. Центральная часть Ферганской впадины имеет умеренное устойчивое движение. Оценки скорости движения для этого сегмента, полученные гравиметрическими и геофизическими методами, совпадают в пределах допустимых ошибок. Необходимо провести более точные профильные съемки в ближних зонах водохранилищ при изменении их эксплуатационного режима.

**Локальные напряжения по тектонофизическим данным.** Как отмечено в работах Ю.Л.Ребицкого, Р.А.Умурзакова и др., исследования напряжений, действующих в земной коре (естественных или техногенных), и оценка деформаций, возникающих в горных массивах под действием этих напряжений, базируются на трех основных составляющих [24,25,26]: лабораторные эксперименты по деформированию вплоть до разрушения образцов горных пород; результаты полевых наблюдений, включающие данные in-situ методов, методов структурной геологии и тектонофизических методов; математическое и физическое моделирование деформаций тектонических объектов.

При этом первое направление, а также методы прямого измерения напряжений и деформаций, относящиеся к геомеханике, всегда рассматриваются как основной - базисный материал для интерпретации напряжений, действующих в земной коре и мантии. Как правило, именно на их основе осуществляется выбор свойств модельных материалов в физическом и математическом эксперименте. Именно эти данные используются, прежде всего, при интерпретации геофизических и сейсмологических данных [26].

Не оспаривая важность лабораторного эксперимента, заметим, что размер объектов, по которым производятся оценки напряжений геомеханическими методами, составляет десятки сантиметров (образцы) и первые метры. В то же время интерпретация геофизических и сейсмологических данных, а также геодинамические модели, получаемые в результате тектонофизического эксперимента, относятся к тектоническим объектам от сотен метров до десятков и сотен километров, и влияние масштабного фактора на прочность и другие механические свойства горных пород может быть очень велико [25,26]. В силу этого тектонофизические методы, в рамках которых исследуются разномасштабные напряжения в природных горных массивах в их естественном состоянии [26], являются необходимым элементом, дополняющим результаты геомеханического изучения деформационной реакции массивов горных пород на нагружение.

Известно, что задачей исследования, будь локальных или региональных очаговых областей, позволяющей судить о геодинамической обстановке и механизме формирования очага землетрясения, является изучение напряженно-деформированного состояния [24,27,28,29]. В настоящее время, для решения этой задачи для зон активного влияния водохранилищ можно привлечь структурно-геологические методы исследований. Сюда относятся: и геолого-геоморфологическое картирование элементов рельефа с выявлением молодых подвижек; и детальное изучение горных пород; и изучение особенностей тектоники; и параметров тектонических движений и деформаций; и установление взаимосвязи с общими региональными процессами; изучение особенностей трещиноватости обнажений горных пород и их региональных закономерностей [24]. 4

Все они основаны на полевых, натуральных наблюдениях обнажений горных пород. Для детального изучения геодинамического состояния расположения Чарвакского, Тупалангского, Гиссаракского и Пачкамарского водохранилищ Узбекистана в крест простирания разломов, проходящих через зону влияния, проведены несколько направлений тектонофизических съемок, на которых от 142 до 212-ти точках сделаны соответствующие замеры (более 100 измерений в каждой точке) мелкой трещиноватости. Например, для зоны деформационного влияния

Гиссаракского водохранилища (Южный Тянь-Шань) определено главное направление напряжений с падением на северо-восток, под углом  $65^{\circ}$ - $85^{\circ}$ . В зоне разлома с нескольких точек сняты и произведены замеры основных параметров мелкой трещиноватости. По наиболее четко фиксируемым зонам разломов составлены мелкие геологические разрезы с измерением параметров мелкой трещиноватости (20 точек) и зеркал скольжения (16 точек). Расставлены эпицентры землетрясений (рисунок 6), участки проведенных тектонофизических съемок и механизмы для участков, куда включены зона деформационного влияния Гиссаракского водохранилища из [12,15,17].

**Обсуждение результатов.** Ниже в первом приближении более подробно остановимся на оценках как основных, так и возможных палеонапряжений по отдельным участкам зоны влияния Чарвакского водохранилища. Анализом результатов тектонофизических съемок проведена реконструкция полей напряжений. Это является попыткой восстановления истинных напряжений по полевым материалам [25]. Результаты были сравнены с результатами количественного моделирования сеймотектонического состояния ближней зоны Чарвакского водохранилища. Для проведения механического анализа напряжений выбран центральный участок Чаткальских гор. Это зона согласно рис.1 практически может являться зоной активного влияния Чарвакского водохранилища. Для этой зоны определены данные о физико-механических свойствах горных пород, данные о современном движении, геофизических и др. параметры [25].

Для зоны активного влияния Чарвакского водохранилища на базе проведенных экспериментов согласно [30,31,32] определены напряжения по всем главным направлениям. Район исследований, выбранный при этом, представляет собой многоугольник, ограниченный с юго-востока Ферганским разломом, с северо-запада Предчирчикентским разломом, с северо-востока Пскемской зоной, а на юго-западе погружается под Ташкент-Голодностепскую впадину. Число разрывов с разной морфологией составляет 30 нарушений. Эти разрывы при проведении тектонофизических съемок введены в расчет. Они разделены по длине и кускам на 84 элементные базы. Например: 1 – Пскомский: на 2 элемента, оба взбросы или сбросы, расположение вертикальное; 2 – Арашанский: на 2 элемента оба взбросо (сбросо) сдвиги; 3 – Кенкольский: на 3 элемента 3 взбросо (сбросо) сдвиги; 4 – Кумбельский: один элемент сбросо-сдвиг; 5 – Чаткальский: на 3 элемента один надвиг и два взбросо-сдвиг и т.д. Для каждого разрыва измерены свои геометрические параметры. Наиболее близкий к Чарвакскому водохранилищу Кумбельский разлом - это сложный сбросо-сдвиг.

По Каржантаускому разлому произведены замеры в 10 точках параметров мелкой трещиноватости и в 4-х точках замеры зеркала скольжения (табл.2).

Таблица 2. Сравнение расчетных значений напряжений и их направлений с инструментальными и эмпирическими данными.

№	Наименование разломов	Модельно расчетные значения в МПа	Осреднение по разлому, в МПа	направление главных напряжений
1	Кумбельский	63	57	Северо-запад (СЗ)
2	Угамский	72	64	Северо-запад (СЗ)
3	Чаткальский	96	82	Юг (Ю)
4	Каржантауский	65	56	Северо-запад (СЗ)
5	Пскемский	92	74	Северо-запад (СЗ)
6	Ташкентская ФРЗ	67	46	Север (С)

Падение смесителя на северо-восток под углами  $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , юго-западное крыло приподнято. За новейшее время по нему происходили сдвиговые перемещения с амплитудой до 5 км. Максимальная ширина зоны влияния Кумбель-Угамского разлома достигает 25 км. Уровень деформации от  $2.3 \times 10^{-8}$  до  $3.7 \times 10^{-7}$ . По имеющимся данным [33], зона разломов приблизительно образовалась в периоды соответствующих релаксации предельных напряжений, так как прослеживаются следы крупных остаточных деформаций, особенно в центральной части.

Повторные подвижки по разлому начались с мелового времени [34]. Блоковые поднятия Пскемского и Угамского хребтов, находящихся в области влияния Кумбель-Угамской разломной зоны, обладают максимальными величинами градиентов средних скоростей новейших вертикальных тектонических движений  $0.4-0.7 \times 10^{-1}$  1/год (150-200 МПа). Сложно построенный Чаткальский блок простирается в западном направлении за указанной выше разломной зоной. Она отличается мозаичным распределением участков с градиентами средних скоростей вертикальных движений, наибольшие значения которых достигают  $0.3-0.9 \times 10^{-1}$  (1/год).

Для проверки точности расчетных данных принимались во внимание следующие признаки: интенсивность движения вдоль разломов в современную эпоху; уровень изменения значений максимального главного напряжения в узловых участках и других геологических условий, включая усредненность физико-механических свойств. Предполагалось, что блоковое движение согласно [33,34] происходит в северном и северо-западном направлениях. Для обеспечения материалами съемок и выделения возможных базовых направлений главных напряжений в зоне активного влияния Чарвакского водохранилища в крест простираения Кумбельского разлома проведены два направления измерений. Определено главное направление падения Кумбельского разлома - северо-восток, под углом  $65^{\circ}-85^{\circ}$ . В зоне разлома с нескольких точек сняты и произведены замеры основных параметров мелкой трещиноватости. По наиболее четко фиксируемым визуально зонам разломов составлены мелкие геологические разрезы с измерением параметров мелкой трещиноватости (8 точек -800 измерений) и зеркал скольжения (4 точки - 4 замера). Вблизи пересечения разломов Каржантау и Кумбель (в зоне котором расположен створ плотины Чарвак) составлены мелкие геологические разрезы, в точках наблюдений сделаны измерения мелкой трещиноватости. Исследования в зоне Каржантауского разлома, в виду его большой протяженности в северо-восточном направлении проводились на небольшом участке в районе поселка Хумсан, где Каржантауский разлом пересекается с зоной Угамских разломов, а также в зоне пересечения Каржантауского разлома с Кумбельским разломом в восточном направлении. Также съемки проведены в правой зоне створа плотины Чарвак.

**Выводы.** Анализ наиболее характерных параметров локальной геодинамики ближних зон водохранилищ, проведенное обобщением результатов сейсмических, геодезических и тектонофизических наблюдений, показало, что при эксплуатации крупных водохранилищ его основание и чаща находятся в постоянно действующих нагрузках сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания основания от вариации объема. Деформации основания могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярное напряженно-деформированное состояние и локальных геодинамических движений вблизи лежащего сейсмически активного слоя земной коры (в пределах зоны активного влияния водохранилищ).

Выявление механизмов и закономерностей формирования разрывообразующих областей в зонах активного деформационного влияния крупных водохранилищ играет важнейшую роль в разработке технологий снижения риска катастроф при недропользовании и в других сферах экономической деятельности, связанных с размещением опасных объектов на земной поверхности. В отечественной и мировой практике природопользования, в научных исследованиях и публикациях вопросы формирования разрывообразующих областей и их роли в развитии катастроф природно-техногенного характера пока не нашли полного отражения.

Представленные выше результаты подтверждают важность создания систем локального геодинамического мониторинга в зонах техногенных объектов. Собственно факт образования или индуцирования техногенных сейсмических процессов в зонах крупномасштабного освоения недр могут привести серьезным изменениям внутренних силовых полей земной коры, о чем свидетельствуют выше представленные изменения параметров локальной сейсмичности, локальных полей геодезических смещений и изменении параметров отражающихся в тектонофизических полях. На подобие сейсмогенеза, техногенеза, отражающих общие генетические изменения сейсмического или технического характера для крупно масштабных полей, для локальных участков геодинамических изучений выше представленными методами можно отнести к локальному сейсотехногенезу.

Работа выполнена при поддержке Министерства инновационного развития и Академии наук Республики Узбекистан (Государственная Программа фундаментальных и прикладных исследований на 2017-2020 годы гранты №ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115).

## Литература

1. Яковлева И.Б., Меденцева Г.П. Сейсмичность района Гиссаракского водохранилища // Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана.- Т: Фан, - 1974.- С.77-90.
2. Плотникова Л.М., Фленова М.Г., Махмудова В.И. Методика и результаты разработки Газлийского месторождения на проявления сейсмичности // Наведенная сейсмичность.- М.:Наука.- 1994.- С.222-240.
3. Тимбеков И.Х., Джураев Н.М., Туйчиева М.А. О достижениях комплексных инженерно-сейсмологических исследований, проведенных в районе предстоящего строительства гидротехнических сооружений в сейсмоактивных зонах Узбекистана.// Проблемы сейсмологии в Узбекистане, - Ташкент: «Янги авлод»- №3,2006-С.54-63.
4. Хамидов Л.А., Зияудинов Ф.Ф., Фахриддинов Ж.Ф., Хамидов Х.Л., Шукуров М.А. Сейсмичность зон деформационного влияния водохранилищ Узбекистана// 11-Сергеевские чтения юбилейная конференция, посвященная 95-летию со дня рождения академика Е.М. Сергеева (1914-1997), Москва, 23-24 марта 2009 г.-С.123-128.
5. <http://isas.uzsci.net/last-earthquakes-ru.php?language=ru>
6. Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Местные сейсмические события под действием нагрузки водохранилищ. // Современная техника и технологии в научных исследованиях.- VIII Международное молодежная конференция. 24-25 марта 2016.- Бишкек.- С.271-273.
7. Lutfulla Hamidov, Local Seismicity of Reservoir Areas Based on Digital Seismometric Observations.// J.Problems of Cybernetics and Informatics, 2012.-vol. III.- Baku, Azerbaijan.- P.85-88.
8. Хамидов Л.А., Шукуров М.А. Локальная сейсмичность зоны деформационного влияния Гиссаракского водохранилища.// Материалы III Международной сейсмологической школы. - «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных»- Кисловодск, 20-24-октября 2008 г.- С.211-216.
9. Плотникова Л.М., Уломов В.И. Разработать техническое задание и создать инженерно-сейсмометрическую службу на Чарвакской плотине на основе изучения локальной сейсмичности. - Ташкент: ИС АН УзССР, 1980, С.68-84.
10. ШНК 2.0611-04.// Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения. - Ташкент: Госархитектстрой. 2004.
11. Хамидов Л.А., Зияудинов Ф.Ф., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Фахриддинов Ж.Ф. Организация инженерно-сейсмометрических наблюдений в зоне Гиссаракского водохранилища. // Проблемы сейсмологии в Узбекистане - Ташкент: ИС АН РУз, 2016.- №13.- С.131-140.
12. Хамидов Л.А. Линейная модель концентрации напряжений в разломах земной коры, находящихся в ближней зоне деформационного влияния крупных водохранилищ. //Проблемы сейсмологии. -Ташкент.-2019-№1.-С.41-51.
13. Heidbach O., Reinesker J., Tingay M., Muller B., Sperener B., Fuchs K., Wenzel F., 2007. Plate boundary forces are not enough: Second and third order stress pattern highlighted in the World Stress Map database. Tectonics 26 (6), TC6014.
14. Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Ядигаров Э.М., Джумабаев И.М. Оценка сейсмических нагрузок на створ водных резервуаров от местных землетрясений.// Вестник НУ РУз.- Ташкент, 2014.- С.23-31.
15. Алимухамедов И.М., Шукуров З.Ф., Хамидов Х.Л., Зиёмов Б.З., Фахриддинов Ж.Ф. Показатели локальной геодинамической активности земной коры зон водохранилищ // Геология и минеральные ресурсы - Ташкент, 2014.- №3 - С.37-42.
16. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Связь между смещением береговых склонов водохранилищ с вариацией ее объема.// Доклады АН РУз - Ташкент.- 2019.-№4. С.42-45.
17. Хамидов Л.А., Зиявитдинов К.Ф., Шукуров М.Ш. Жесткостные характеристики массивов горных пород в ближней зоне водохранилищ.// Журнал

Геология и минеральные ресурсы. - №4, 2010.- С.34-39.

18. Зияудинов Ф.Ф., Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Фахриддинов Ж.Ф. Способ 2D численного моделирования квазистатических напряжений на структурированных основаниях крупных водохранилищ.// Проблемы сейсмологии в Узбекистане-Ташкент: ИСАН РУз, 2015.- № 12.- С.103-106.

19. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В. Периодические вертикальные смещения по геодезическим данным и упругие параметры земной коры.// Известия высших учебных заведений.- геодезия и аэрофотосъемка, № 5, 2015, С.20-26.

20. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.:Наука,1975.–576 с.

21. Хамидов Л.А. Изучение полей напряжений Чаткальской горной зоны западного Тянь-Шаня.// Геодинамика (J.Geodinamics) , №1 (вып. VI ) – Львов, Украина - 2010 – С. 57-66.

22. Эргешов И.М., Хамидов Л.А., Хусамиддинов А.С., Хамидов Х.Л. Морфогенетические особенности Восточной части Западного Тянь-Шаня для организации GPS измерительных пунктов. // Доклады АН РУз.- Ташкент.- №5.- 2015.- С.41-45.

23. Zubovich A.V., Mukhamediev Sh.A. A method of superimposed triangulations for calculation of velocity gradient of horizontal movements: application to the Central Asian GPS network // Geodynamics & Tectonophysics. 2010. V.1. №2. P.169–185.

24. Умурзаков Р.А. К оценке поля сейсмогенерирующих напряжений в области готовящегося землетрясения.// Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений. - Материалы международной научной конференции 7-8 октября 2004 г., Ташкент - ИС АН РУз.-2004.-С.180-183

25. Хамидов Л.А. Изучение распределения напряжений в Чаткало-

Кураминской горной зоне // Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений - Материалы международной научной конференции 7-8 октября 2004г., Ташкент - ИС АН РУз.-2004.- С.191-198.

26. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. М.: Наука. 2007. 406 с.

27. Chopra Satinder and Marfurt Kurt Seismic Attributes – a promising aid for geologic prediction.// REC@RDER Canadian Society of Exploration Geophysicists.- 2006.- vol. 31 No. Special:<http://csegrecorder.com/articles/view/seismic-attributes-a-promising-aid-for-geologic-prediction>

28. Изостазия как причина ряда ОПЯ.// <http://studopedia.su/Geologiya/>

29. Интервью акад. К.Леви: «Связаны ли колебания уровня Байкала с сейсмичностью?».// "Восточно-Сибирская правда", № 26760 от 11 февраля 2015 г.

[http://www.crust.irk.ru/newssmi\\_21.html](http://www.crust.irk.ru/newssmi_21.html)

30. Хамидов Л.А. Краевая задача для исследования полей перемещений и напряжений вблизи разных типов внутренних концентраторов.// Изв. АН УзССР, сер.тех.наук,№ 5, 1988. С.32-36.

31. Хамидов Л.А., Алимова М.М. Напряженно-деформированное состояние вблизи сейсмогенной структуры.// Узб.геол.ж. № 6, 1989. С. 13-20.

32. Хамидов Л.А., Зиявитдинов К.Ф. Математическая модель одной тектонофизической задачи.// Узб. журнал Проблем механики, N 2, 1993, С. 15-19.

33. Ярмухамедов А.Р. Морфоструктура срединного Тянь-Шаня и ее связь с сейсмичностью. - Ташкент: Фан. 1988. 163 с.

34.Ходжаев А.К. Палеосейсмогеология Чаткало-Кураминского региона. – Ташкент: Фан. - 1985. - 136с.

<b>Mundarija</b>	sah.
<b>Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Atabekov I.U., Mirzayev M.A.</b> O‘zbekiston hududi tog‘massalarining seysmik oquvchanligi .....	3
<b>Atabekov I.U., Muminov M.Yu., Kuchkarov Q.I.</b> Pomir-Hindukush havzasi kuchlanishlarining raqamli modeli .....	13
<b>Shukurov Z.F.</b> GNSS o‘lchov ma’lumotlarini GAMIT-GLOBK muhitida qayta ishlash va tahlil qilish.....	23
<b>Sodiqov Y.M., Nurmatov U.A., Yusupdjanova U.A.</b> O‘zbekiston markaziy qismining seysmotektonik modeli .....	32
<b>Ismailov V.A.</b> Shahar hududida seysmik riskni miqdoriy baholashning ilmiy-metodik asoslari.....	42
<b>Xamidov L.A., Ibragimov A.X., Xamidov H.L., Artikov F.R., Ganiyva B.R., Anvarova S.G.</b> Chorvoq suv ombori to‘g‘onida va qirg‘oq etaklarida zilzilalarni qayd etish bo‘yicha joriy davr uchun ma’lumotlarni qayta ishlash natijalari.....	50
<b>Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л.</b> Параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ.....	64
<b>Содержание</b>	стр.
<b>Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Атабеков И.У., Мирзаев М.А.</b> Сейсмическое течение горных масс территории Узбекистана.....	3
<b>Атабеков И.У., Муминов М.Ю., Кучкаров К.И.</b> Численные модели напряжений в зоне Памир-Гиндукуша.....	13
<b>Шукуров З.Ф.</b> Обработка и анализ данных измерений GNSS в среде GAMIT-GLOBK.....	23
<b>Садыков Ю.М., Нурматов У.А., Юсупджанова У. А.</b> Сейсмотектоническая модель Центральной части Узбекистана .....	32
<b>Исмаилов В.А.</b> Научно-методическая основа количественно оценки сейсмического риска территории городов.....	42
<b>Хамидов Л.А., Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р., Ганиева Б.Р., Анварова С.Г.</b> Результаты обработки данных за текущий период по записям землетрясений на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища.....	50
<b>Хамидов Л.А., Алимухамедов И.М., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л.</b> Параметры локальной геодинамики ближних зон водохранилищ .....	64
<b>Content</b>	page
<b>Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Atabekov I.U., Mirzaev M.A.</b> Seismic rocks fluidity for Uzbekistan territory.....	3
<b>Atabekov I.U., Muminov M.Yu., Kuchkarov Q.I.</b> Numerical model of stresses in Pamir-Gindukush zone юю.....	13
<b>Shukurov Z.F.</b> Processing and analysis of GNSS measurement data in the GAMIT-GLOBK software .....	23
<b>Sadykov Yu.M., Nurmatov U.A., Yusupdzhanova U. A.</b> Seysmotektonics models of the Central part Uzbekistan.....	32
<b>Ismailov V.A.</b> Scientific and methodical basis of quantitative assessment seismic risk in the territory of cinies.....	42
<b>Khamidov L.A., Ibragimov A.Kh., Khamidov H.L., Artikov F.R., Ganiyva B.R., Anvarova S.G.</b> Results of data processing for the current period on earthquake records on the dam and on the coastal slopes of the Charvak reservoir .....	50
<b>Khamidov L.A., Alimukhamedov I.M., Artikov F.R., Khamidov H.L.</b> Parameters of local geodynamics of the near zones of reservoirs.....	64

**SEISMOLOGIYA MUAMMOLARI**

**ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ**

**SEISMOLOGY PROBLEMS**

**№ 1 , том 2, 2020**

Мусаххих Н.Мирходиев

Компьютерная верстка Л.А. Хамидов, Х.Л. Хамидов

---

Формат 80-64 1/8 Усл. печ.л. 3,8. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Бизнес Полиграф  
Ташкент, Чиланзар, ул. Козиробот, 65.