

ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR АКАДЕМИЯСИ
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

SEYSMOLOGIYA MUAMMOLARI

2

2019

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ

Jurnal 2019-yildan yiliga ikki marta nashr etiladi

Журнал издается с 2019 года по два номера в год

TOSHKENT – 2019

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;

Jurnal sayti: 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;

Сайт журнала: 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.

Seismik xavfni baholash va seismik rayonlashtirish

УДК 550.34

Атабеков И.У.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан, atabekovi@mail.ru

ИНИЦИИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Atabekov I.U.

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Seismologiya instituti,

KUCHLI ZILZILANING ZAIF ZILZILALARGA TA'SIRI

Аннотация. O'rta Osiyoning tektonik faolligi asosan Hindiston va Evroosiyo plitalarining to'qnashuv jarayonlari bilan bog'liq. [1] da, tutash muhitlar mexanikasining tenglamalariga asoslanib, O'rta Osiyo yer qobig'ida zilzilalar ehtimoli hisobga olingan geodinamik zo'riqishlar modeli yaratildi. Yer qobig'ining tezliklari, gorizontal siljishlar, deformatsiyalar va aylanishlar 36:46 sh.k.; 56:76 sh.u. geografik koordinatalari doirasida hisoblangan. [1]da ishlab chiqilgan metodologiyadan foydalangan holda, Markaziy Osiyoda kuchli zilzilaning O'zbekistonda zaif seismiklikni faollashtirishga ta'siri tahlil qilingan. Hisob-kitoblar turli xil zilzila manbalari mexanizmlari uchun amalga oshirildi. Avvalroq [2]da bu imkoniyat statistik tahlil usuli bilan aniqlangan. Bu yerda har xil vaqt oralig'ida avvalgisiga nisbatan keyingi kuchli zilzila ehtimoli ko'proq joylashishi uchun empirik qonuniyatlar yaratilgan. Taklif etilayotgan maqolada raqamli yechimdan foydalanib, kuchli zilzilalardan keyin Markaziy Osiyo mintaqasining turli qismlarida maksimal tangensial kuchlanishlarning nisbiy o'zgarishi juda oshib ketmasligi aniqlandi. Ammo ba'zi bir yetarlicha kuchlanishlar zilzila o'chog'idan ancha uzoqroq masofada ham bo'lishi aniqlangan. Kuchli zilzilalarning shu kabi harakati yer qobig'ining kritik zonalarida katta rol o'ynashi mumkin. Muayyan seismik faol zonalarda seismik faollashtirish o'rtasida barqaror aloqalar mavjudligi raqamli tahlilga ko'ra faollashtirilgan yer yorig'ining yo'nalishi zilzila manbasining parametrlariga nisbatan topilgan. Bo'lgusi zilzilalardagi kuchlanishlarning o'zgarishiga qo'shni hududlardagi harakat tekisligi 90° ga yaqin bo'lgan zilzilala o'chog'idan eng katta hissa qo'shilishi aniqlandi. Ko'rilgan geografik mintaqadagi raqamli model natijalarining tahlili mamlakatning tashqi zonalarida kuchli zilzilalardan so'ng O'zbekiston hududining zaif seismik faolligi to'g'risidagi xulosalar bilan deyarli to'la mos keladi.

Таянч со'злар: Markaziy Osiyo, raqamli model, yer qobig'ining kuchlanishi, zilzila mexanizmi, seismik faollashtirish.

Атабеков И.У.

Институт сейсмологии АН Республика Узбекистан,

ИНИЦИИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Аннотация. Тектоническая активность Центральной Азии во многом связана с процессами столкновения Индийской и Евразийской плит. В работе [1] на основе уравнений механики сплошных сред была построена геодинамическая модель напряжений с учетом возможности землетрясений в земной коре Центральной Азии. Поле скоростей, горизонтальных смещений, деформаций и вращений земной коры рассчитывалось в пределах географических координат 36:46 с. ш., 56:76 в. д. С помощью методики разработанной в той работе здесь анализируется влияние сильного землетрясения в Центральной Азии на активации слабой сейсмичности в Узбекистане. Расчеты проведены для различных типов механизмов очага землетрясений. Ранее в работе [2], методом статистического анализа была выявлена такая возможность. Там были установлены эмпирические закономерности наиболее вероятного местоположения последующего сильного землетрясения относительно предыдущего в разные промежутки времени. В предлагаемой статье с помощью численного решения выяснено, что относительные изменения максимальных касательных напряжений в различных частях Центрально-Азиатского региона после сильных землетрясений незначительно превышают фоновых напряжений, хотя некоторые возмущения доходят далеко от источника землетрясения. Подобное триггерное действие сильных землетрясений может играть большую роль в областях, где земная кора имеет критическое напряжение. Наличие устойчивых связей между сейсмической активацией в определенных сейсмически активных зонах, согласно численному анализу, определяется направлением активированного разлома относительно направления простириания источника землетрясения. Установлено, что наиболее существенный вклад в изменение напряжений в области будущих землетрясений ожидается в соседних территориях после землетрясений типа сброса с углом наклона близким 90°. Анализ результатов численной модели в рассматриваемом географическом регионе практически полностью совпадают с выводами, установленными в [2] об активизации слабой сейсмичности территории Узбекистана после сильных землетрясений во внешних зонах страны.

Ключевые слова: Центральная Азия, численная модель, напряжения, земная кора; механизм землетрясений, активация сейсмичности.

Atabekov I.U.

Institute of Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, atabekovi@mail.ru

INITIATING ACTION OF STRONG EARTHQUAKE

Annotation. The tectonic activity of Central Asia is largely associated with the collision processes of the Indian and Eurasian plates. In [1], based on the equations of continuum mechanics, a geodynamic stress model was constructed taking into account given the possibility of earthquakes in the earth's crust of Central Asia. The field of velocities, horizontal displacements, deformations, and rotations of the earth's crust was calculated within the geographical coordinates of 36:46 N. W, 56:76 E. Using the methodology developed in that paper, the effect of a strong earthquake in Central Asia on the activation of weak seismicity in Uzbekistan is analyzed. The calculations were performed for various types of earthquake source mechanisms. Earlier in [2], this possibility was revealed by the method of statistical analysis. There, empirical laws were established for the most probable location of the subsequent strong earthquake relative to the previous one at different time intervals. In the proposed article, using a numerical solution, it was found that the relative changes in the maximum tangential stresses in various parts of the Central Asian region after strong earthquakes do not so much exceed background stresses, although some disturbances reach far from the source of the earthquake. A similar trigger action of strong earthquakes can play a large role in areas where the crust has a critical stress. The presence of stable links between seismic activation in certain seismically active zones, according to numerical analysis, is determined by the direction of the activated fault relative to the direction of strike of the earthquake source. It has been established that the most significant contribution to the change in stresses in the area of future earthquakes is expected in neighboring territories after earthquakes of the type of fault with an inclination angle close to 90°. The analysis of the results of the numerical model in the considered geographical region almost completely coincides with the conclusions established in [2] on the activation of the weak seismicity of the territory of Uzbekistan after strong earthquakes in the external zones of the country.

Key words: Central Asia, numerical model, stress of the earth's crust, earthquake mechanism, seismicity activation.

Введение. Действие сильного землетрясения на активации слабой сейсмичности обсуждались неоднократно. Несмотря на это, вопрос остается открытым. При этом компетентные специалисты зачастую высказывают диаметрально противоположные точки зрения от несомненно доказанных фактов снижения времени подготовки землетрясения даже кратковременными возмущениями [3,4] до категорического отрицания такой возможности. Эта дискуссия получила новый импульс благодаря известному землетрясению Landers (28.06.92, $M = 7.3$), после которого в течение десятки часов на расстояниях до 1250 км от эпицентра регистрировались сейсмические события, происхождение которых приписывалось триггерному эффекту [5]. В работе [3] исследован вопрос о влиянии глубокофокусных землетрясений Памиро-Гиндикуша на землетрясения Кавказа и Центральной Азии с помощью отбора землетрясений имеющие магнитуды $M > 5$, произошедшие с 1961 по 1985 года по данным бюллетеня Международного сейсмологического центра. На основе статистической обработки огромного материала в [3] сделан вывод о том, что процесс подготовки землетрясения не ограничен в области накопления упругой энергии и удаленные сильные землетрясения оказывают иногда решающее влияние на заключительной фазе развития очага в местах далеко от гипоцентра. Аналогичный вывод сделан в работе [2], где выявлено влияние сильного землетрясения в Центральной Азии на активации слабой сейсмичности в Узбекистане. Там установлены эмпирические закономерности наиболее вероятного местоположения последующего сильного землетрясения относительно предыдущего в разные промежутки времени. Однако надо сказать, что и такие работы, например, [6], где авторы, проводя статистическую обработку по землетрясениям 1950-2005гг, делают обратное утверждение. Изменение поля напряжений, обусловленного нарушением структуры земной коры в очаговой области, может быть существенными вблизи эпицентральной области, хотя они очень быстро спадают с увеличением расстояния. Как показывают оценки значений скачка напряжений, рассчитанные для различных расстояний от очага землетрясения «Landers», на расстояниях свыше 200 км значения вариации напряжений становится ниже, чем ежедневных вариаций, вызванных приливами. Однако, накопление небольших остаточных перемещений на сейсмогенных разломах может привести к заметному снижению времени подготовки землетрясения, хотя вне рассмотрения остается сам механизм формирования таких остаточных смещений. По мере приближения статической нагрузки к пределу прочности контакта в разломах небольшие движения могут привести к потере устойчивости. В работе [7] описаны некоторые результаты экспериментов по инициированию межблоковых перемещений однократным динамическим

воздействием. При отсутствии постоянной сдвигающей нагрузки прохождение колебаний практически не вызывает возникновения таких перемещений. В то же время, при наличии даже небольшого касательного усилия отчетливо наблюдается процесс формирования относительных смещений блоков. При любой позиции в этой дискуссии, вопрос о том, как и насколько далеко распространяется инициирующее действие каждого землетрясения, остается не решенным.

Чтобы выяснить, какие землетрясения играют существенную роль для активации слабой сейсмичности, анализируем изменения напряженного состояния земной коры на примере Центральной Азии (в пределах 36:46 с.ш., 56:76 в.д.). На основе упругой модели литосферы методом численного эксперимента определим относительные изменения максимальных касательных напряжений в различных частях региона после некоторых сильных землетрясений. Анализируем действия различных моделей механизма очага землетрясения: сосредоточенный диполь с моментом (тип I), сосредоточенный двойной диполь без момента (тип II) и энергетическая модель в виде сингулярного объема. А также выясним изменения напряжений в последствии землетрясений в зависимости от глубины очага.

Земная кора ведет себя как упругое тело по отношению кратковременно действующих сил, но в течении геологического времени она деформируется пластически и проявляет свойства ползучести. В качестве напряжений, на фоне которых происходит землетрясение, примем статические напряжения, согласующиеся современным рельефом земной поверхности, не вникая в историю образования рельефа. Таким образом, предварительная задача сводится к отысканию напряжений упругого тела, размерами литосферы рассматриваемого региона, под действием граничных сил, действующих на условно принятой границе. Для определения этих граничных сил проводится численный эксперимент. Варьируются граничные силы таким образом, пока вертикальное перемещение упругой задачи, граничные условия которой соответствует наиболее принятой гипотезе о состоянии литосферы Центральной Азии, не образуют современный рельеф. Согласно этой гипотезе деформация земной коры Центральной Азии рассматривается как результат раздавливания коры этого пояса в поле латерального сжатия, порожденного коллизией Евразийской с одной стороны, Индийской и Аравийской литосферных плит с другой.

Методы решения. Рассмотрим задачу о деформации тяжелого упругого тела, лежащего на жидком основании, боковые края которого подвергаются латеральным сжатиям. Напряженное состояние такой среды, имеющей сосредоточенные моменты во внутренних точках (для задачи с ординарным диполем), определяется уравнениями равновесия сил и моментов:

$$\sigma_{ij,j} + F_i = 0, \quad (1)$$

$$\mu_{ij,j} + \varepsilon_{ijk} \sigma_{kj} + M_i = 0 \quad i,j=1,2,3 \quad (2)$$

где σ_{ij} , μ_{ij} – компоненты силового и моментного тензора напряжений, индекс j после запятой означает дифференцирование по декартовым координатам x_j , F ($0,0,\rho g$) – массовая сила, ε_{ijk} – тензор Леви-Чивита, M_i – составляющие удельного момента, имеющий размерность момента, деленного на объем. Основная сложность в применении моментной теории заключается в трудностях, возникающих при определении констант, связывающих обобщенные напряжения с кинематическими параметрами. Известно небольшое количество экспериментов, позволяющих идентифицировать шесть упругих констант Коссера лишь для простейших материалов. Учитывая эту неопределенность, можно вектор вращения грубо выразить по-прежнему, как в безмоментной теории $\omega_k = \varepsilon_{ijk} u_{i,j}$. Тогда $\mu_{ij}=0$ и формула (2) выражает асимметричность тензора напряжения. В случае одного очага землетрясения координатами (x_{10}, x_{20}, x_{30}) , сосредоточенный момент выражается через дельту функций:

$$M_i(x_1, x_2, x_3) = M_{i0} \delta(x_1 - x_{10}) \delta(x_2 - x_{20}) \delta(x_3 - x_{30}) \quad (3)$$

При моделировании механизма землетрясения двойной диполем без момента (тип II) система (2) отпадает, а соответствующие функции F_i в системе (1) модифицируются согласно выводам в работе [8]. Например, применительно к случаю вертикальной подвижки эквивалентные объемные силы имеют следующие выражения:

$$f_1(x, y, z) = M_0 \delta(x - x_0) \delta'(y - y_0) \delta(z - z_0)$$

$$\begin{aligned} f_2(x, y, z) &= M_0 \delta'(x - x_0) \delta(y - y_0) \delta(z - z_0) \\ f_3(x, y, z) &= 0, \quad M_0 = \mu \bar{u} A \end{aligned} \quad (4)$$

где \bar{u} - средняя подвижка, A - площадь разрыва.

Можно поступить и по-другому. Как известно момент в (4) соответствует сброшенному напряжению при землетрясении. Поэтому можно написать уравнения равновесия для полного тензора напряжения учитывая $M_{ij} = (\Delta \sigma)_{ij}$ в следующем виде:

$$(\sigma_{ij,j} - M_{ij,j}) + F_i = 0, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (5)$$

Решение полных систем трехмерных уравнений является непростой задачей. В работе [1] предложен один способ упрощения этих систем с учетом специфики геодинамических задач с помощью усреднения переменных $w(x_1, x_2, x_3)$ по следующей формуле:

$$\bar{w}(x_1, x_2) = \frac{1}{(h - H)} \int_{H(x_1, x_2)}^{h(x_1, x_2)} w(x_1, x_2, x_3) dx_3 \quad (6)$$

Здесь черта указывает усреднение по x_3 , $h(x_1, x_2)$ - нижняя, $H(x_1, x_2)$ - верхняя граница литосферы. В декартовых координатах (x_1 - на север, x_2 - на восток, x_3 - вертикально вниз) после усреднения уравнения упругого равновесия, например, формула (5) в конечном безразмерном виде принимает следующий вид:

$$\Delta \bar{U} + \frac{1}{1 - 2\nu} \text{grad div } \bar{U} = \bar{F}, \quad (7)$$

где правая часть имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} F_1 &= -\frac{\partial \bar{M}_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{M}_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{M}_{13}}{\partial x_3} - \frac{1}{(h - H)} \frac{\partial H}{\partial x_1} \sigma_{11} - \frac{1}{(h - H)} \frac{\partial H}{\partial x_2} \sigma_{12} + \frac{1}{(1 - 2\nu)} \frac{\partial (u_3^h - u_3^H)}{\partial x_1} \\ F_2 &= \frac{\partial \bar{M}_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \bar{M}_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \bar{M}_{23}}{\partial x_3} - \frac{1}{(h - H)} \frac{\partial H}{\partial x_1} \sigma_{12} - \frac{1}{(h - H)} \frac{\partial H}{\partial x_2} \sigma_{22} + \frac{\nu}{(1 + \nu)(1 + 2\nu)} \frac{\partial (u_3^h - u_3^H)}{\partial x_2} \end{aligned} \quad (8)$$

При таком усреднении, зависимость от глубины нивелируется. Поэтому ни решения задачи типа I, ни типа II не позволяют анализировать поле напряжений, вызванное землетрясением, в зависимости от глубины источника. Чтобы обойти такой ситуации очаг землетрясения можно выразить в виде концентрированного фокуса в небольшом сферическом объеме по энергетической модели, где M_0 выражается следующим образом [9]:

$$M_0 = \frac{\Delta \sigma}{G} \left(\frac{r_0}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 (x_i - x_{i0})^2}} \right)^{n_{eff}} \quad (9)$$

Здесь r_0 - относительный радиус сферы, n_{eff} - коэффициент расхождений, $\Delta \sigma$ - сброшенное напряжение.

Для разрушения, характеризуемого углами простирания φ , наклона λ , падения δ , момент M_{ij} в формуле (5) выражается следующим образом [8]:

$$\begin{aligned} M_{11} &= -M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\varphi + \sin 2\delta \sin \lambda \sin^2 \varphi), \\ M_{12} &= M_0 (\sin \delta \cos \lambda \cos 2\varphi + 1/2 \sin 2\delta \sin \lambda \sin 2\varphi) = M_{21}, \\ M_{13} &= -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \cos \varphi + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \varphi) = M_{31}, \\ M_{22} &= M_0 (\cos \delta \cos \lambda \sin 2\varphi - \sin 2\delta \sin \lambda \cos^2 \varphi), \\ M_{23} &= -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \sin \varphi - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \varphi) = M_{32}, \\ M_{33} &= M_0 \sin 2\delta \sin \lambda. \end{aligned} \quad (5)$$

Решения описанных систем уравнений в предположении известного блокового строения литосферы рассматриваемого региона, специфические особенности которого описана в работе [1],

проводится методом граничных интегральных уравнений [10]. Методы регуляризации соответствующих алгебраических уравнений, а также другие вопросы, касающиеся особенности применяемого метода, обсуждены также в работе [1]. Для получения численных результатов составлена авторская программа в среде программирования Дельфи. Построения изолинии проводится программой Surfer.

Анализ модельных решений. На рисунке 1 изображены максимальные касательные напряжения в килобарах на глубине 20 км в коре Центральной Азии из решения вышеописанной задачи, при варьировании граничных условий которой вертикальное перемещение наиболее близко соответствовало к современному рельефу земной поверхности. Значения напряжений удовлетворительно совпадают с оценками, проведенными для отдельных мест различными методами других авторов [11,12].

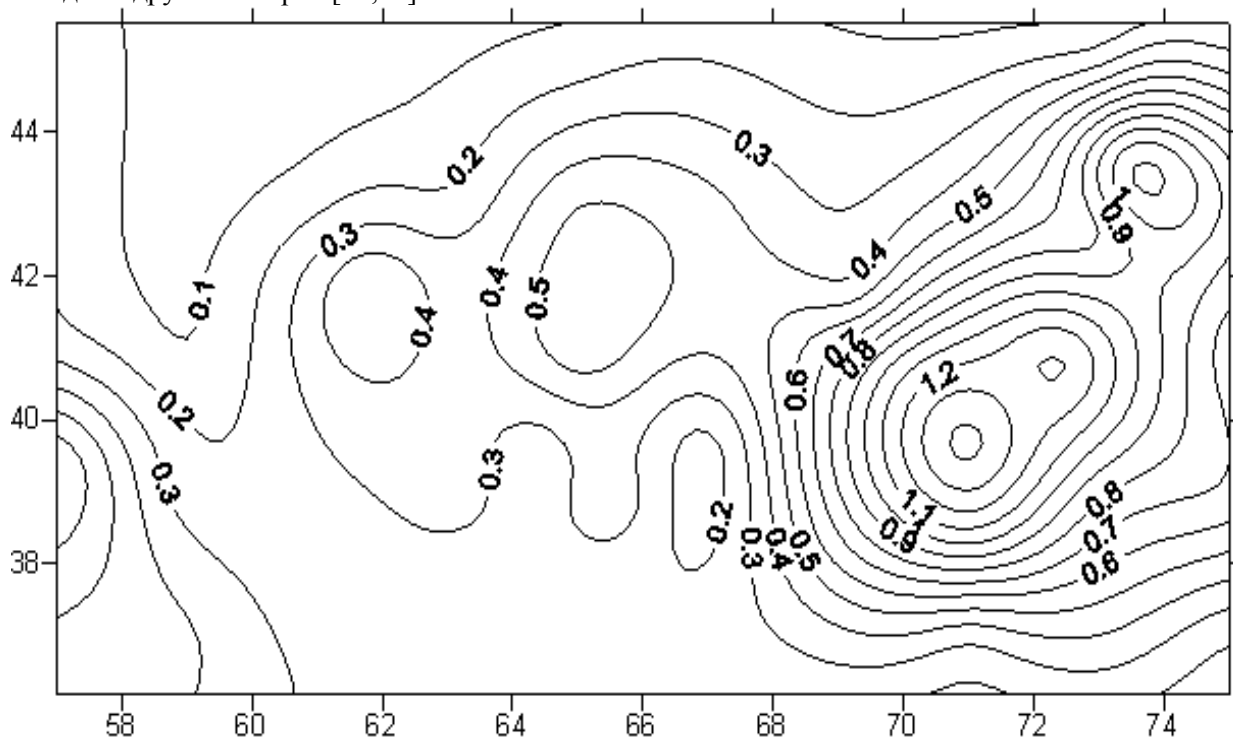


Рис.1. Максимальные касательные напряжения в килобарах на глубине 20 км.

Для модельных землетрясений, при конкретных значениях M_0 , полученные напряжения, за исключением небольшой области поблизости очага для типов I и II, почти совпадают. А в пределах небольшой области вокруг очага, значения для типа II приблизительно два раза превышает соответствующее значения для типа I. Это вполне согласуется с выводами работы [13], где анализируются значения перемещений однородной сферы для случаев механизма очага I и II типов. В нижестоящей таблице приведены рассчитанные по нашей модели данные наибольших и наименьших напряжений (относительно модуля сдвига) в крупных городах Узбекистана.

ГОРОДА	ГЛАВНОЕ НАИБОЛЬШЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ/G	ГЛАВНОЕ НАИМЕНЬШЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ/G
ТАШКЕНТ	$5,6475 \cdot 10^{-3}$	$-3,5356 \cdot 10^{-3}$
САМАРКАНД	$4,5925 \cdot 10^{-4}$	$-5,3017 \cdot 10^{-3}$
БУХАРА	$5,7500 \cdot 10^{-3}$	$1,6515 \cdot 10^{-4}$
ФЕРГАНА	$2,9304 \cdot 10^{-2}$	$1,4985 \cdot 10^{-3}$
АНДИЖАН	$2,9022 \cdot 10^{-2}$	$8,5994 \cdot 10^{-3}$
КАРШИ	$5,6477 \cdot 10^{-3}$	$5,7050 \cdot 10^{-3}$

Поскольку наша модель усреднена по направлению радиуса земли, при построении таблицы в качестве σ_{zz} условно принята литостатическое давление.

На рис.2 приводится полученная картина зон «сжатия-сдвиг-растяжения» земной коры рассматриваемой территории.

Анализ численных результатов наших задач показал, что напряженное состояние земной коры по-разному реагирует на землетрясения в зависимости от простирания φ , наклона λ , падения δ . Максимальные изменения напряжения (в смысле увеличения или уменьшения) наблюдаются при взбросе, когда плоскость разлома расположена вертикально с вектором простирания направленный вверх ($\delta = \lambda = \pi/2$).

Неглубокий очаг вызывает заметные (возможно большие) изменения напряжений только вблизи эпицентра, и при тех же значениях других параметров землетрясения возмущения напряжений от глубокого источника распространяются далеко от эпицентра, с относительно небольшой величиной. В качестве примера на рисунках 3-4 приводятся картины перераспределения напряжений от условного землетрясения одной и той же магнитуды в зависимости от глубины очага.

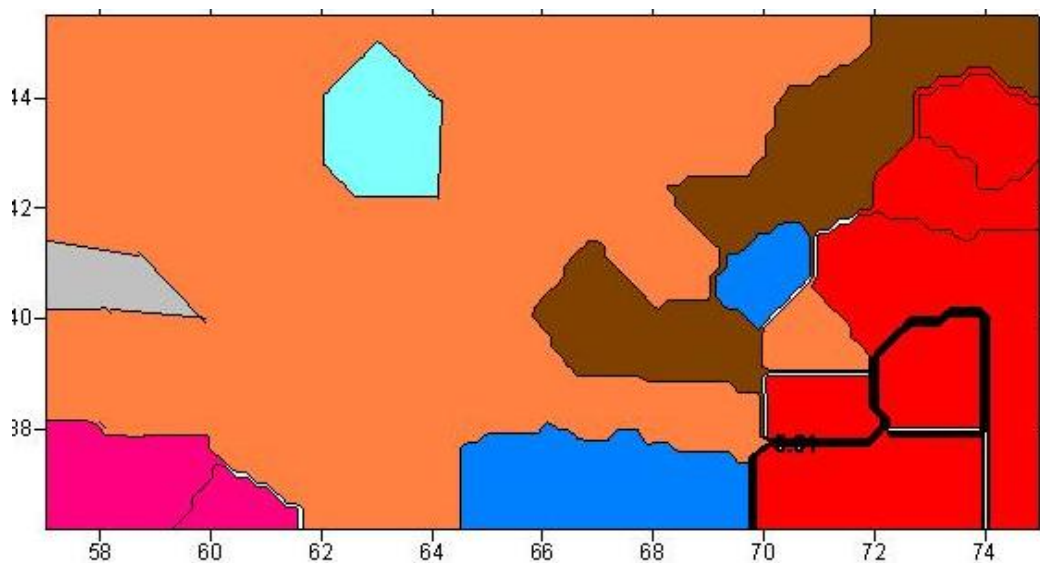


Рис.2. Зоны сжатия-сдвиг-растяжения (по интенсивности от красного до светло бирюзового цвета).

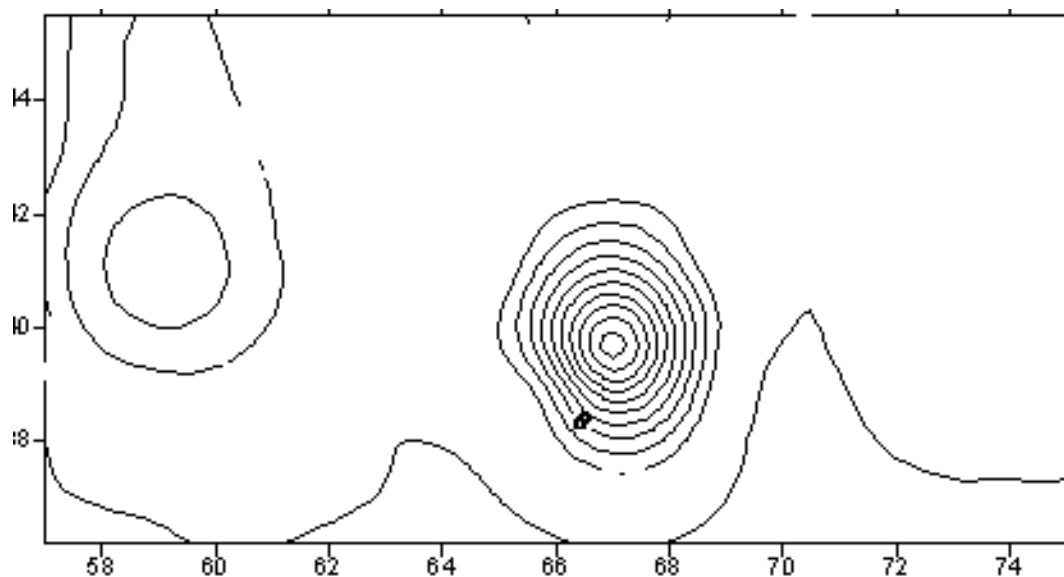


Рис. 3. Изменение напряжения в % после землетрясения с очагом $h=8$ км.

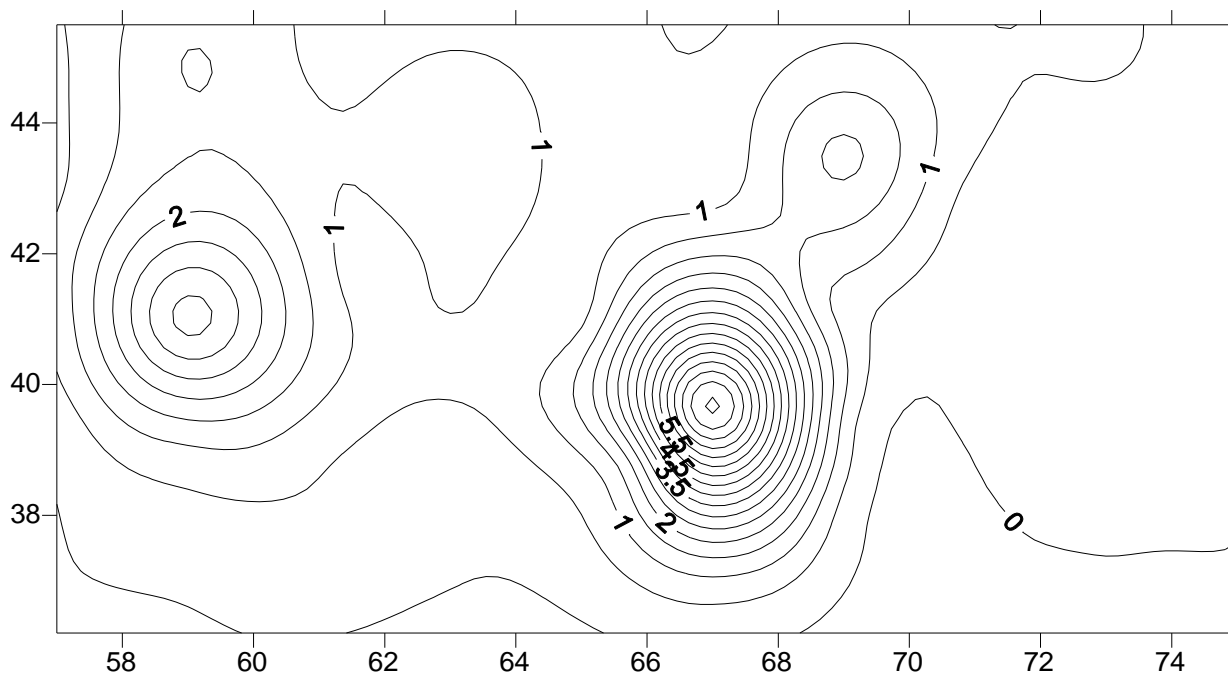


Рис. 4. Изменение напряжения в % после землетрясения с очагом $h=20$ км.

Сдвиговое землетрясение вызывает заметные изменения напряжений вдоль направления разломной плоскости, в то время как в перпендикулярном направлении разлома изменение напряжений на порядок меньше. На рисунках 5-8 показаны изолинии относительных изменений касательных напряжений в Центральной Азии на примерах землетрясений в Гиндукуше (36,2 с.ш; 73 в.д., $M = 7-7,5$, $h = 40$ км) с различными параметрами плоскости разлома δ , λ , φ .

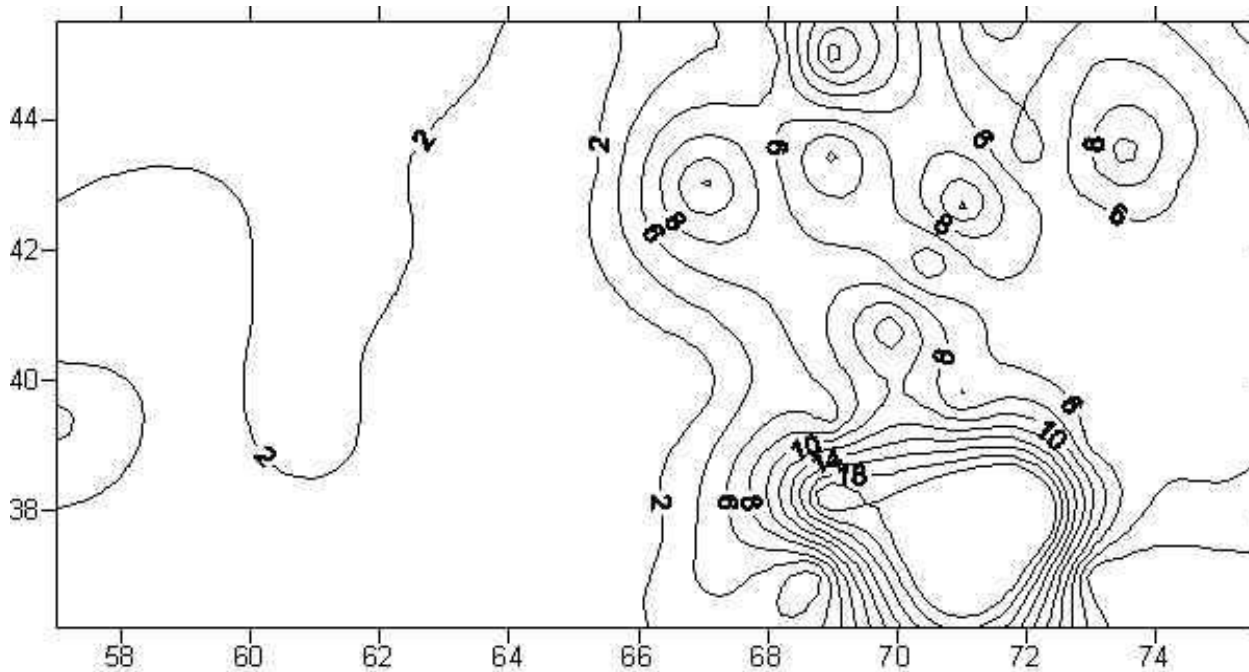


Рис. 5. Изменение напряжения (в %) от землетрясения с очагом в Гиндукуше ($\delta = 90^\circ$, $\lambda = 90^\circ$, $\varphi = 0^\circ$).

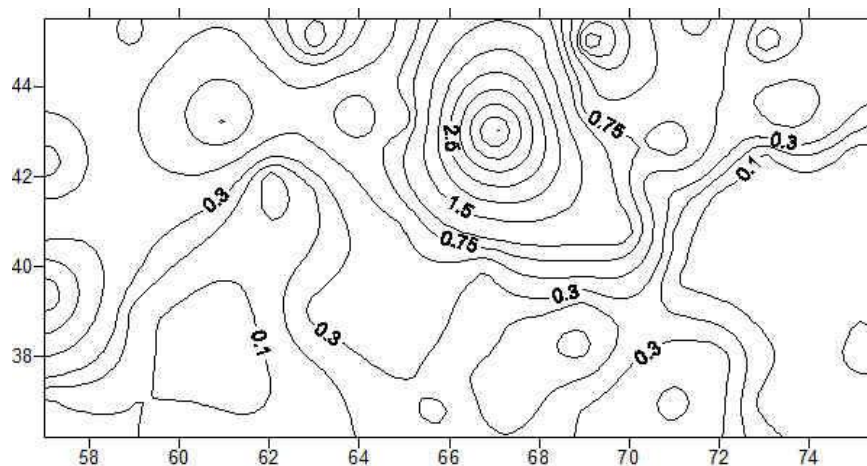


Рис. 6. Изменение напряжения (в %) после землетрясения в Гиндукуше с параметрами $\delta = 90^\circ$, $\lambda = 45^\circ$, $\varphi = 90^\circ$.

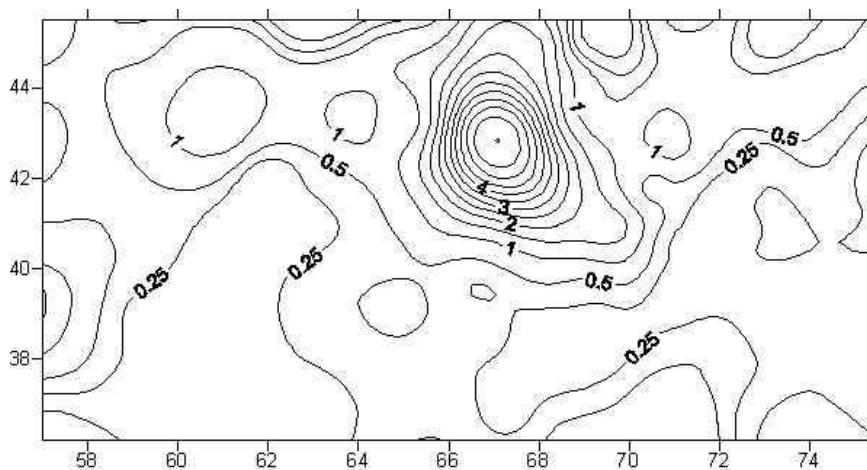


Рис. 7. Изменение напряжения (в%) после землетрясения в Гиндукуше с параметрами $\delta = 90^\circ$, $\lambda = 45^\circ$, $\varphi = 0^\circ$.

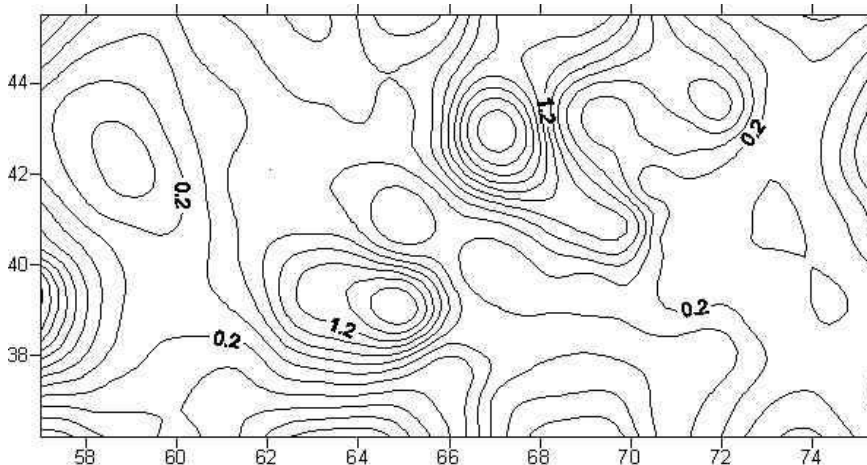


Рис. 8. Изменение напряжения (в%) после землетрясения в Гиндукуше с параметрами $\delta = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\varphi = 0^\circ$.

На рисунке 9 приводится схема из работы [2], показывающая, какая из внешних сейсмически активных зон наиболее тесно связана с активацией в сейсмических зонах Узбекистане.

К сожалению, в работе [1] была создана модель напряжений для территории Центральной Азии, ограниченной географическими координатами 36:46 с.ш.; 56:76 в.д. Поэтому мы вынуждены ограничиться рассмотрением сейсмических событий в зонах, входящих в эти пределы.

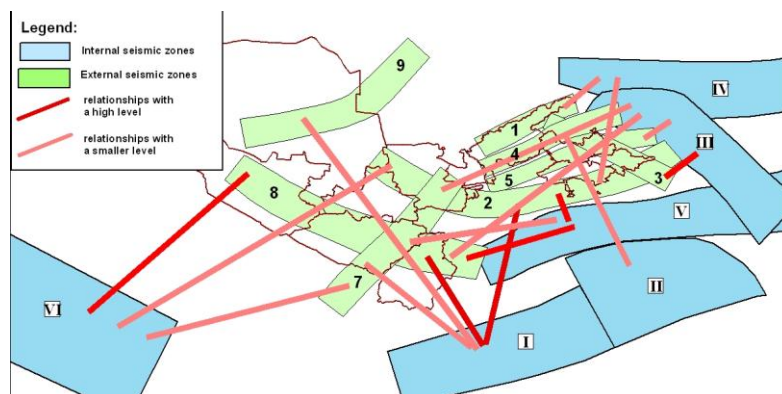


Рис. 9. Схема связи активации сейсмичности территорий Узбекистана после сильных землетрясений в соседних регионах [2].

Рис. 5-8 показывают, что землетрясения в Гиндукуше с плоскостью разлома к северу сильно влияют на напряженное состояние земной коры Ферганской впадины и на северо-запад и могут служить спусковыми механизмами для слабых землетрясений в Ферганской долине и в Северо-Тамдынской зоне. В отличие от статистической модели [2], численная модель показывает дополнительно все еще сильную корреляцию активации сейсмичности Ферганской зоны от землетрясений Гиндукуша. Правда, этот тезис работает в случае, когда плоскость разлома направлена на север, хотя Гиндукуш (зона I на рис.9) протягивается почти вдоль параллели. Сравнение рисунков 6 и 7 показывает, что, когда плоскость разлома направлена вдоль параллели, действие землетрясения на север заметно ослабляется.

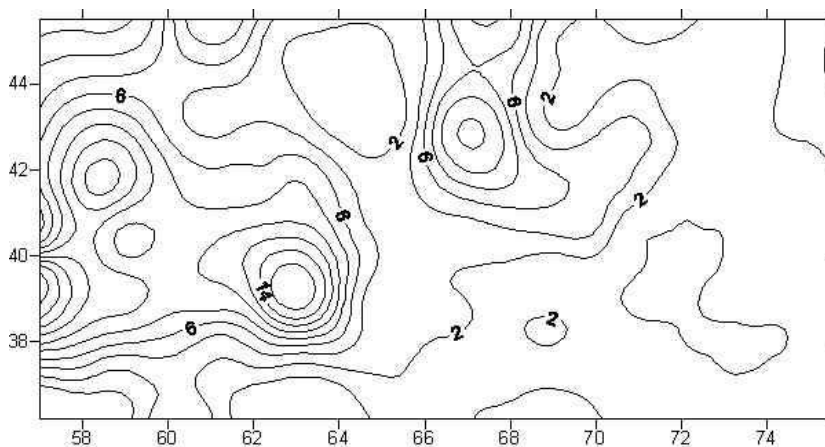


Рис.10. Влияние Ашхабадского землетрясения ($\delta = 45^\circ$, $\lambda = 90^\circ$, $\varphi = 45^\circ$) на активацию сейсмичности территории Узбекистана.

Ашхабадское землетрясение 1948 года (38 с.ш., 58 в.д., $h = 18$ км, $M = 7,3$), расположенное во внешней зоне Копетдага, действительно сильно повлияло на Бухаро-Газлийскую и Амударьинскую зоны Узбекистана (рис. 10), хотя относительно немного повлияло также на другие районы Узбекистана.

Суссамырское землетрясение 1992 г. (42,07 с.ш., 73,63 в.д., $h = 25$ км, $M = 7,4$), расположенное во внешней Таласо-Ферганской зоне, очень сильно повлияло на все зоны Ферганской долины (Рис.11).

Таким образом, анализ результатов численной модели в рамках рассматриваемого географического региона практически полностью подтверждает выводы работы [2] об

активизации слабой сейсмичности территории Узбекистана после предыдущих сильных землетрясений во внешних зонах страны.

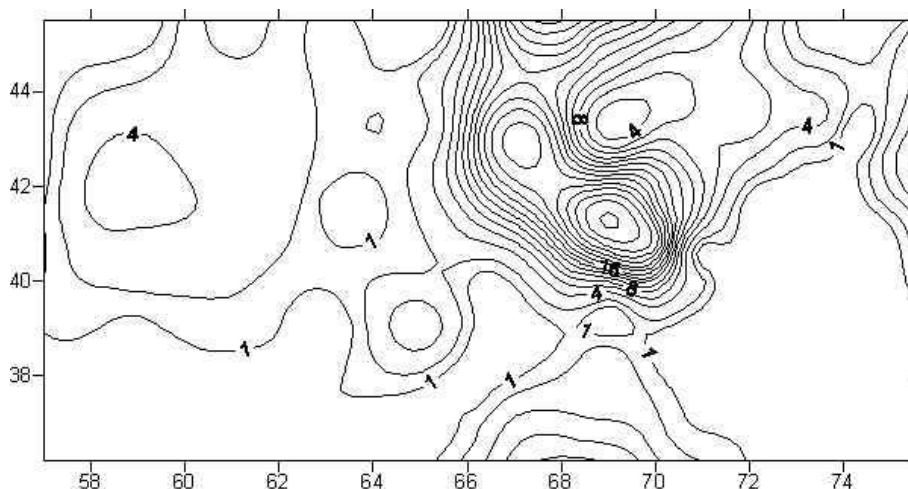


Рис. 11. Влияние Сусамырского землетрясения ($\delta = 45^\circ$, $\lambda = 90^\circ$, $\varphi = 45^\circ$) на активацию сейсмичности территории Узбекистана.

Заключение. На основе упругой модели решена задача о напряженном состоянии земной коры Центральной Азии. Модель учитывает возможности расчета изменения напряжений вследствие землетрясений, происходящих в регионе. В качестве механизма очага рассматриваются модели диполя с моментом, двойной диполь без момента и сингулярный объемный очаг. Полученные с их помощью решения сравниваются между собой и результатами других авторов. Проводится анализ распространения возмущений напряжения от землетрясений в зависимости от глубины гипоцентра. Анализируются вопросы активации сейсмичности территории Узбекистана из-за сильных предшествующих землетрясений на прилегающих территориях.

Литература

1. Атабеков И.У. Математическая модель тектонических течений в литосфере Центральной Азии. Проблемы сейсмологии. 2019, №1, С. 24-33
2. 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.
3. Николаев А.В., Верещагина Г.М. Об иницировании землетрясений землетрясениями. ДАН СССР, 1991, т.218, №2, С. 320-324
4. Gombert J., Beeler N.M., Blanpied M.L., Bodin P. Earthquake triggering by transient and static deformations. *J. Geophys. Res.*, 1998, v. 103, No. B10, p. 24411-24426.
5. Hill D.P., Reasenberg P.A., Michael A. et al. Seismicity remotely triggered by the magnitude 7.3 Landers, California, earthquake. *Science*, 1993, v. 260, p. 1617-1623.
6. Люкс Е.И., Кондратьев О.К. Наведенная сейсмичность и проблема прогноза землетрясений, *Геофизика*, 2007, №5, с. 6-21
7. Кочарян Г.Г., Костюченко В.Н., Павлов Д.В. Иницирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями. *Физическая мезомеханика*, 2004, т.7, № 1, С. 5-22.
8. Аки К, Ричардс П. Количественная сейсмология, т.1, Изд. Мир 1983, 520 с.
9. Ризниченко Ю.В. Энергетика макросеймики // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1974, №8, С. 3-10.
10. Бреббия К., Телес Ж., Вробел Л. Методы граничных элементов, М., Изд. «Мир», 1987 524 с
11. Гзовский М.В., Основы тектонофизики, М.: Изд. «Наука», 1964, 536 с.
12. Николаев Н.И., Шенкарева Г. А., Карта градиентов скоростей новейших тектонических движений территории СССР. «Тектонические движения и новейшие структуры земной коры» / Под. ред. Николаева Н.И., М: Изд. «Недра», 1967. С 37-43.
13. Касахара К. Механика землетрясений, М., Изд. «Мир», 1985, 264 с.

ZILZILALARNI PROGNOZLASH

УДК 550.34

Максудов С.Х., Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р.

Институт сейсмологии АН РУз., Ташкент, Республика Узбекистан

ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РАЗНОГЛУБИНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Maksudov S.X., Abdullabekov K.N., Tuychiev A.I., Yusupov V.R.

O'zR FA Seismologiya instituti, Toshkent sh., O'zbekiston Respublikasi

GEOMAGNIT MAYDONNING YER QOBIG'I VA YUQORI MANTIUANING TURLI CHUQURLIKLARIDAGI JARAYONLAR BILAN BOG'LIQ VARIYATSIYALARI.

Annotatsiya. Maqolada O'zbekistonning Toshkent, Farg'ona geodinamik poligonlari hududida geomagnit tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Yer qobig'ining turli chuqurliklarida va yuqori mantiya jarayonlarga bog'liq geomagnit maydonning local anomal o'zgarishlari batafsil ko'rib chiqildi. Mahalliy anomal o'zgarishlar chiziqli o'lchamlarga mintaqaviy (100 km chiziqli o'lchamlari va undan ko'p) (mahalliy kichik) (1 dan 5 km va undan ko'p chiziqli) o'lchamlarga bo'linadi. Mintaqaviy xarakterdagi anomal o'zgarishlar sinusoidal, buxtasimon va trend shakllarida namoyon bo'ladi. Ushbu anomalialarning davomiyligi 1 yildan 7 yilgacha va undan ko'p sinusoidal va buxtasimon shakllar bo'lib, davomiyligi 2-3 dan 10 yilgacha bo'lgan. Trend turi uchun 0.5-2.0 nTl/yil. Mahalliy turdagi anomal o'zgarishlar, odatda, sinusoidal va buxtasimon shakllarda namoyon bo'ladi. Buxtasimon anomaliasi ijobiy va salbiy belgiga ega. Intensivligi 2 dan 25 nTl gacha, 10-15 kundan 3 va undan ko'p yillar davom etadi. Ushbu mahalliy anomal o'zgarishlar har qanday darakhilar va texnogen hodisalarga taalluqli emas. Mahalliy anomalialarning soni va sifati bo'yicha statistik jihatdan ahamiyatli bo'lgan ushbu klass birinchi marta O'zbekiston geodinamik poligonlari hududida aniqlandi. So'nggi 40-50 yil ichida geomagnit maydonning mahalliy anomal o'zgarishlarini o'rganish bo'yicha adabiyot ma'lumotlarining tahlili bu turdagi anomal o'zgarishlar haqida hech qanday ma'lumot yo'qligini ko'rsatdi. Ular geomagnit maydonning asosiy o'zgarichlari, jinslarning litologik tarkibi, tektonik, gidrogeologik sharoitlar, o'rganilgan hududlarning geofizik sohalarini shakllanishining qabul qilingan mexanizmlari bilan izohlanmaydi. Ushbu turdagi mahalliy anomal o'zgarishlarning namoyon bo'lishining o'ziga xos xususiyatlaridan biri shundaki, ular vaqt, shakli, hajmi, zichligi, belgisi bilan o'zgarishi mumkin. Biz geomagnit maydonning asiy o'zgarishlari davridagi anomalialar bilan bog'liq barcha mavjud ma'lumotlarni to'plashga harakat qildik. Biroq, bu materiallar, afsuski, bizning ishimizda keltirilgan mahalliy anomal o'zgarishlar haqida deyarli hech qanday ma'lumotni bermaydi.

Kalitli so'zlar: Yer qobig'i, yer magnit maydoni, mahalliy va mintaqaviy anomal variatsiya, amplituda, davriylik, geodinamik poligon.

Максудов С.Х., Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р.

Институт сейсмологии АН РУз., г. Ташкент, Республика Узбекистан

ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РАЗНОГЛУБИНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Аннотация. В статье приводятся результаты геомагнитных исследований на территориях Ташкентского, Ферганского геодинамического полигонов Узбекистана. В ней подробно рассмотрены локальные аномальные вариации геомагнитного поля, обусловленные процессами на различных глубинах в земной коре и верхней мантии. Локальные аномальные вариации разделены по линейным размерам на региональные (линейные размеры 100 км и более) и локальные (линейные размеры от 1 до 5 км и более). Аномальные вариации регионального характера проявляются в синусоидальной, бухтообразной и трендовой формах. Продолжительность этих аномалий составляет от 1 года до 7 лет. Для трендового типа градиент составляет 0.5-2.0 нТл/год. Аномальные вариации локального типа проявляются, как правило, в синусоидальной и бухтообразной формах. Бухтообразная аномалия имеет положительный и отрицательный знак. Интенсивность аномалий составляет от 2 до 25 нТл, продолжительность от 10-15 дней до 3 и более лет. Приведенные локальные аномальные вариации не относятся ни к предвестниковым, ни к техногенным. Этот тип локальных аномалий впервые выявлен на территориях геодинамических полигонов Узбекистана. Анализ литературных данных за последние 40-50 лет по исследованию локальных аномальных вариаций геомагнитного поля показал отсутствие какой-либо информации по этому виду аномальных вариаций. Они не поддаются объяснению принятыми механизмами образования векового хода геомагнитного поля, литологическим составом пород, тектоникой, гидрогеологическими условиями, геофизическими полями исследованных территорий. Одной из особенностей проявления локальных аномальных вариаций данного типа является то, что они могут изменяться во времени, по форме, размерам площади, интенсивности, знаку.

Мы собрали все доступные данные, имеющие отношение к аномалиям векового хода геомагнитного поля. Однако эти материалы, к сожалению, не дают практически никаких сведений относительно тех локальных аномальных вариаций, о которых идет речь в нашей работе.

Ключевые слова: земная кора, магнитное поле, локальная и региональная аномальная вариация, амплитуда, продолжительность, геодинамический полигон.

Maksudov S.X., Abdullabekov K.N., Tuychiev A.I., Yusupov V.R.

Institute Seismology Academy of the Republic of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan

VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD DUE TO DIFFERENT-DEPTH PROCESSES IN THE EARTH'S CRUST AND UPPER MANTLE

Annotation. The article presents the results of geomagnetic studies in the territories of Tashkent, Fergana geodynamic polygons of Uzbekistan. Local anomalous variations of the geomagnetic field caused by processes in different depths of the earth's crust and upper mantle are considered in detail. Local anomalous variations are divided by linear dimensions into regional (linear dimensions of 100 km or more) and (local small) (linear dimensions of 1 to 5 km or more). Anomalous variations of regional character are manifested in sinusoidal, Covelike and trend forms. The duration of these anomalies is from 1 year to 7 years and more sinusoidal and Cove-shaped forms the duration is from 2-3 to 10 years. For the trend type is 0.5-2.0 nTl/year. Anomalous variations of the local type are manifested, as a rule, in sinusoidal and Cove-like forms. The Cove-like anomaly has a positive and negative sign. The intensity ranges from 2 to 25 nTl, duration from 10-15 days to 3 years or more. The given local anomalous variations do not belong neither to the precursor nor to the technogenic. Statistically significant in quantity and quality, this class of local anomalies was first identified in the territories of geodynamic polygons of Uzbekistan. Analysis of the literature data for the last 40-50 years on the study of local anomalous variations of the geomagnetic field showed the absence of any information on this type of anomalous variations. They can not be explained by the accepted mechanisms of formation of the age-old course of the geomagnetic field, lithological composition of rocks, tectonics, hydrogeological conditions, geophysical fields of the studied areas. One of the features of the manifestation of local anomalous variations of this type is that they can vary in time, shape, size, area, intensity, sign. We tried to collect all available data related to the anomalies of the secular course of the geomagnetic field. However, these materials, unfortunately, do not give almost no information about those local anomalous variations, which are discussed in our work.

Keywords: crust, magnetic field, local and regional anomalous variation, amplitude, duration, geodynamic polygon.

Введение. Начиная с середины XX века, геомагнитные исследования по выявлению геодинамических процессов и поиску предвестников сильных землетрясений широко применяются в большинстве сейсмоактивных регионов земного шара.

Исследования по поиску геомагнитных предвестников землетрясений на территории Узбекистана ведутся с 1968 г. Они проводятся на специально организованных геодинамических полигонах и в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений. Геомагнитные исследования были организованы также на территориях техногенных объектов – естественных подземных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений. Исследования проводились методами повторных маршрутных, площадных и стационарных режимных измерений. Применялись абсолютные протонные магнитометры. Чувствительность их 0,1 нТл, ошибка выделения аномальных вариаций не превышала 0,3-0,5 нТл. За более чем 50-летний период геомагнитных исследований были заложены более 1100 пунктов с общей протяженностью маршрутных, площадных съемок около 7750 км. Были задействованы около 25 магнитных станций стационарных режимных измерений. В результате выявлен широкий амплитудно-временной спектр локальных вариаций различной природы, связанных:

- 1) процессами подготовки и свершения сильных ($M \geq 5$) землетрясений;
- 2) деятельностью техногенных объектов – подземных естественных газохранилищ, крупных водохранилищ и эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений;
- 3) процессами, происходящими в различных глубинах в земной коре и верхней мантии.

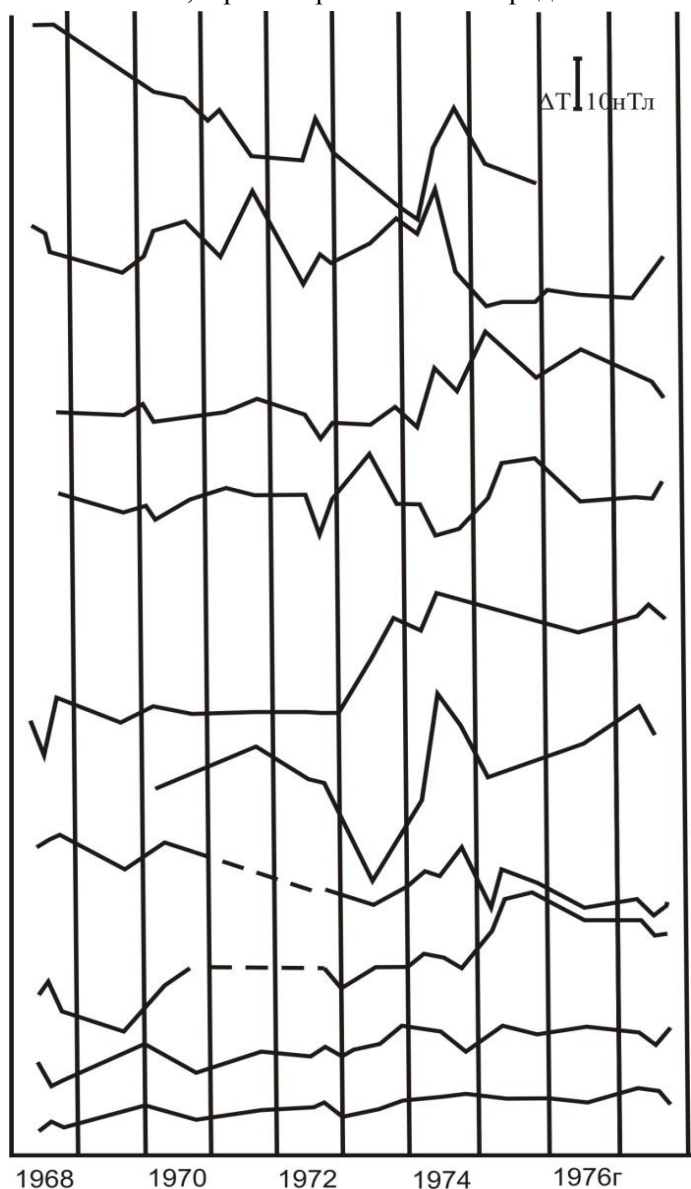
Данная работа посвящена детальному анализу локальных аномальных вариаций геомагнитного поля третьего типа.

Результаты исследований. Локальные вариации геомагнитного поля, обусловленные землетрясениями и деятельностью техногенных объектов, были детально и неоднократно освещены в наших публикациях [1-8]. По полученным данным, с учетом результатов зарубежных исследователей, были выявлены зависимости между параметрами предвестников и землетрясений

для долгосрочных и среднесрочных предвестников сильных землетрясений [2,4,5,6,8]. Были случаи успешного прогноза ряда сильных ($M \geq 5$) землетрясений на территории Узбекистана и прилегающих сейсмоактивных регионов [5,9].

С накоплением данных геомагнитных исследований на стационарных магнитных станциях и пунктах повторных наблюдений были выявлены многочисленные и локальные аномальные вариации геомагнитного поля, обусловленные процессами в различных глубинах в земной коре и верхней мантии. Они были выявлены на территориях Ташкентского и Ферганского геодинамического полигонов. Такой анализ делается впервые. Причиной тому является то, что в большинстве случаев они проявляются на территориях техногенных объектов, на отдельных пунктах повторных и стационарных измерений в виде краткосрочных и долгосрочных аномальных вариаций. Продолжительные (3-7 лет) аномальные вариации проявились на территориях, линейные размеры которых превышают 100-150 и более км. Ниже излагаются результаты исследований по выявлению аномальных вариаций локального и регионального характера на территориях геодинамических полигонов Узбекистана.

На рисунке 1 приведены локальные аномалии геомагнитного поля на пунктах маршрутов Ташкентского геодинамического полигона. Аномальные вариации проявились на 8 пунктах из 52 заложенных на полигоне в 1968-1970 гг. Как видно, изменения имеют разную форму, интенсивность, время проявления и продолжительность. Эти изменения отличаются даже на соседствующих пунктах (Сек 1 и 2, 14^a и 15), расстояние между которыми не превышает 5 км. На некоторых пунктах (зап.9; Сек 1 и 2) на фоне медленного изменения проявляются бухтообразные, синусоидальные, зигзагообразные аномальные изменения среднесрочного характера. Приведенные изменения проявляются на разных участках Ташкентского геодинамического полигона. На рисунке №1 для примера приведены пункты (секущий 17 и 18), где отсутствуют какие-либо изменения за время исследований.



На рисунке №2 приведен пример выявления локальных аномальных вариаций на двух стационарных станциях Ташкентского геодинамического полигона. Станции расположены на расстоянии 500 метров друг от друга. Локальная аномалия имеет бухтообразную форму положительного знака [9].

На рисунке №2 приведен пример выявления локальных аномальных вариаций на двух стационарных станциях Ташкентского геодинамического полигона. Станции расположены на расстоянии 500 метров друг от друга. Локальная аномалия имеет бухтообразную форму положительного знака [9].

Рис. 1. Локальные вариации геомагнитного поля на пунктах Ташкентского геодинамического полигона, обусловленные приповерхностными источниками.

Здесь на станции 1 аномалия имеет интенсивность порядка 2,5 нТл, а на станции 2-4,5 нТл. Продолжительность аномалии в обеих станциях одинаковая и составляет около 17 дней. Аномалия выделена относительно магнитной обсерватории Янгибазар, расположенной на расстоянии 40 км.

Локальная вариация подобного характера зарегистрирована также и на территории Ферганского геодинимического полигона. На территории Восточной Ферганы на площади порядка 6 тыс. км² (рис 3) в течение 1979-1989 гг. были организованы специальные высокоточные геомагнитные исследования. В данном случае частота повторных измерений на 40 пунктах составляла 2 раза в месяц.

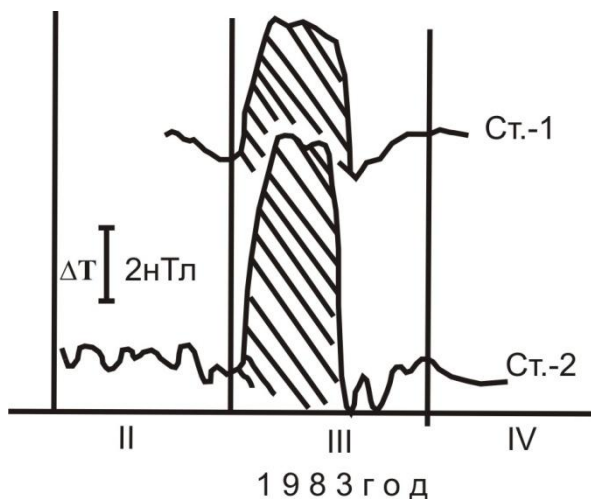


Рис.2. Локальные изменения ΔT , зарегистрированные двумя станциями, расположенными на расстоянии 500 м друг от друга.

Были задействованы три станции стационарного режима вблизи населенных пунктов Таш-Ата, Андижан (Боги Шамол) и Маданият. Эти станции располагались в субмеридиальном направлении с расстоянием между ними порядка 30 км. Для того, чтобы представить общий ход изменения поля на территории Восточного Узбекистана, начнем с рассмотрения поведения векового хода магнитного поля в обсерватории Янгибазар и на территории Ферганского полигона. На рис 4.

приведено изменение среднегодовых значений T в обсерватории Янгибазар и на трех станциях полигона.

Как видно из рисунка, уменьшение значения поля по региону за период 1980-1984гг. имеет линейный характер. Наблюдается только различие в величинах векового хода в обсерватории на станциях. Если среднее значение векового хода за период 1980-84 гг. обс. Янгибазар составляет - 11 нТл, то для станций Маданият и Андижан -12 нТл, а для станции Таш Ата -13 нТл. Величина векового хода увеличивается в направлении с севера на юг. Если вековой ход на станциях Маданият и Андижан протекает идентично, то на станции Таш Ата этот ход протекает более интенсивно. После 1984 г. в регионе наблюдается резкое спадание интенсивности векового хода. В обс. Янгибазар и на станции Маданият вековой ход после 1986 года даже сменил знак, на станции Андижан он имеет нулевое значение, а на станции Таш Ата имеет значение - 1 нТл. После 1987 года в регионе картина векового хода резко меняется. Нарушается тенденция смены знака векового хода на положительный. На всех отмеченных пунктах вековой ход приобретает вновь отрицательный знак. Отличие векового хода на станции Таш Ата по отношению к станциям Андижан и Маданият также сохраняется.

Первая локальная вариация была зарегистрирована на магнитной станции Маданият. Бухтообразная вариация положительного знака началась примерно с марта месяца 1982 г. и завершилась в конце марта 1983 г. (рис. 5).

Амплитуда вариации порядка 4 нТл. Максимум отмечается в конце октября 1982 г. Завершением этой вариации наблюдается резкое начало в апреле бухтообразной вариации отрицательного знака. Продолжительность порядка 2 месяца, завершается она в конце мая, амплитуда - около 2 нТл. Очередная вариация на станции наблюдается с середины апреля по середины августа 1986 г. Форма синусоидальная, один период - 4 месяца, максимальная амплитуда 3,5 нТл.

Следующая аномалия проявляется с начала января по конец апреля 1988 г. Форма бухтообразная, продолжительность - 4 месяца, максимальная амплитуда - 2,5 нТл. На очень приповерхностное расположение источников этих аномалий говорит тот факт, что они не проявились на ближайших (на расстоянии 0,7-3 км) пунктах повторных магнитных съемок.

На станции Таш Ата локальная аномалия наблюдалась только один раз. Время проявления апрель-май 1983 г. Форма - бухтообразная отрицательного знака, интенсивность - 1,5 нТл (рис. 6).

На станции Андижан за период 1979-1992 гг. локальная аномалия ни разу не происходила.

На отмеченных 40 пунктах повторных съемок локальная вариация впервые наблюдалась на пункте №30 (рис. 7) Здесь на фоне медленного роста ΔT в течение 1982-1985 годы наблюдается бухтообразная вариация отрицательного знака с интенсивностью порядка 14 нТл, с минимумом в январе 1984 г. Она - самая продолжительная и большая по интенсивности локальная аномалия, наблюдаемая на пунктах повторных съемок на территории Восточно-Ферганского полигона. Такая локальная аномалия проявилась на пунктах 25, 26 (рис 3.). Аномалии на них самые разные по форме, интенсивности, продолжительности и времени проявления.

Высокоточные геомагнитные исследования на территории Восточной Ферганы дали новые по качеству и природе результаты.

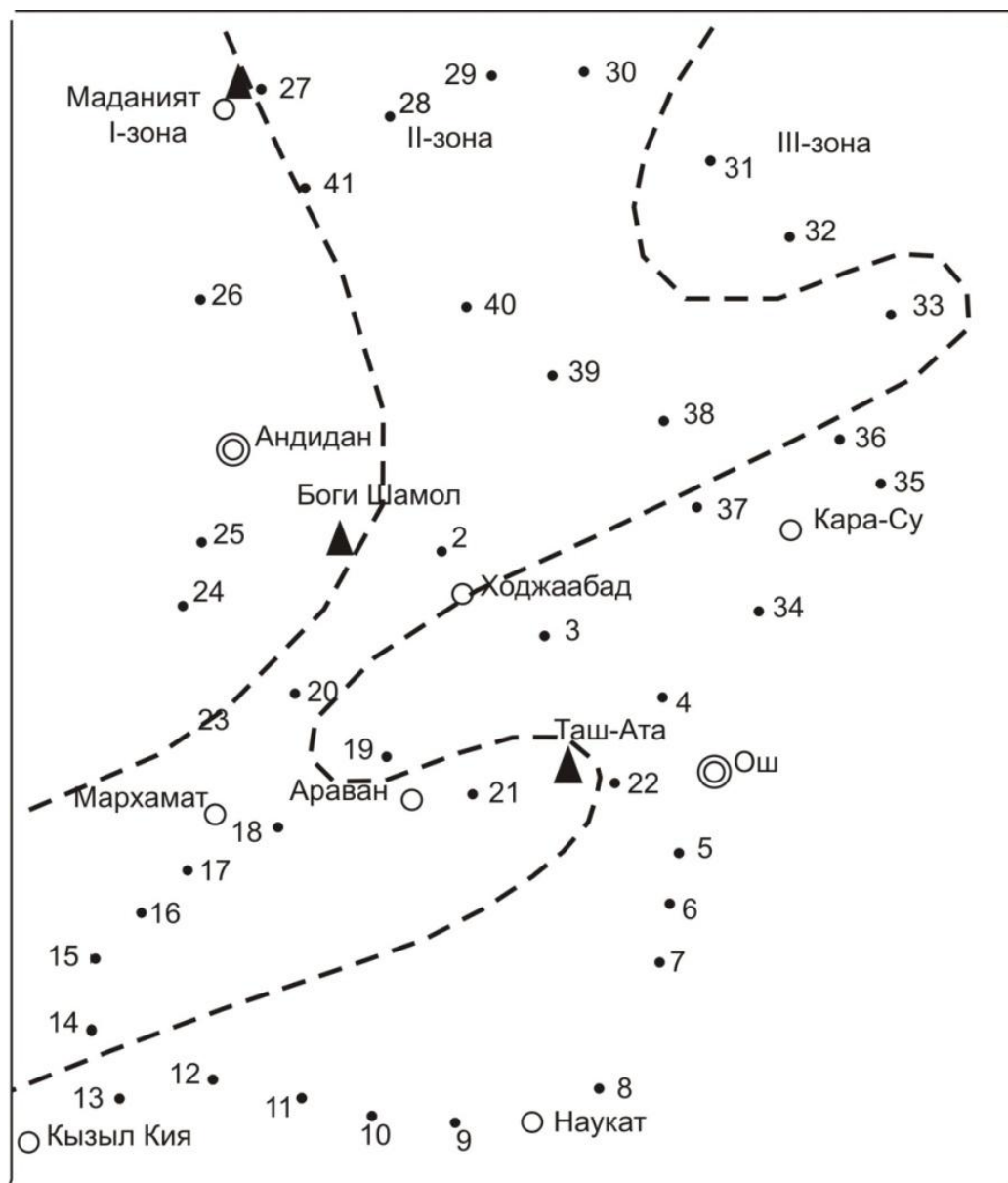


Рис.3 Выделенные зоны длиннопериодных изменений геомагнитного поля на территории Восточно-Ферганского полигона.

- - *пункты повторных магнитных съемок;*
- ▲ - *пункты стационарных магнитных наблюдений;*
- - *линия границы между выделенными зонами.*

Впервые на территории геодинамических полигонов Узбекистана выделены новые длиннопериодные изменения, проявившихся в большом числе пунктов повторных наблюдений.

Анализ локальных изменений на территории Восточно-Ферганского полигона показал, что по характеру этих изменений площадь полигона разделилась на три зоны (рис.3).

В первую зону вошли станции Андижан, Маданият и ряд пунктов повторных наблюдений. Хотя в эту зону вошли и пункты 25, 26 на которых проявились локальные аномалии индивидуального характера, они были исключены из анализа. Итак, первая группа пунктов, включая станцию Маданият, показывает отсутствие каких либо длиннопериодных изменений по отношению к станции Андижан. Эта зона составляет западную часть территории полигона.

Во вторую зону вошли 16 пунктов (кривая 1, рис. 8) среднее длиннопериодное изменение поля в зоне имеет следующий характер. В 1980 и 1981 годах ΔT уменьшается. Затем до 1985 г. наблюдается рост значения ΔT . После незначительного уменьшения поля в 1986 г. вновь начинается возрастание. Общая амплитуда изменения составляет за 1979-1988 гг. порядка 5,5 нТл. Наибольшую амплитуду изменения имеют северные (№№ 27-30) пункты зоны 8.0-9.5 нТл.

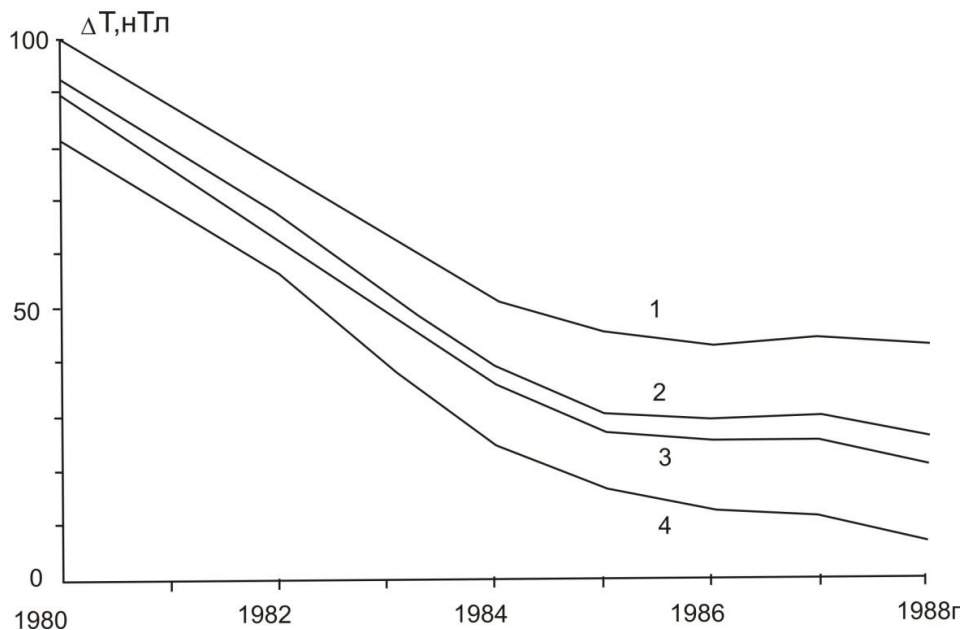


Рис.4. Изменение среднегодовых значений ΔT в обсерватории Янгибазар и на трех станциях Восточной Ферганы. 1- обс. Янгибазар, 2- Маданият, 3- Андижан (Боги шамол), 4- Таш-Ата.

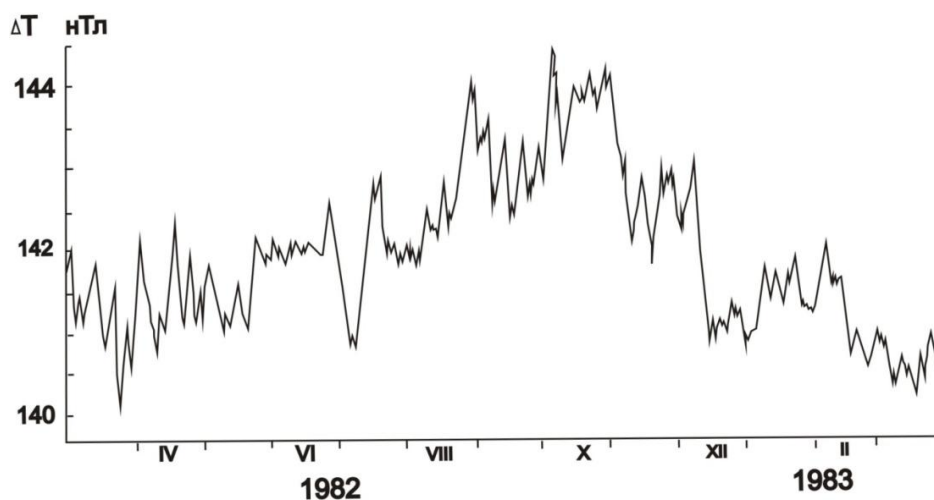


Рис.5 Локальное изменение ΔT , зарегистрированное на станции «Маданият».

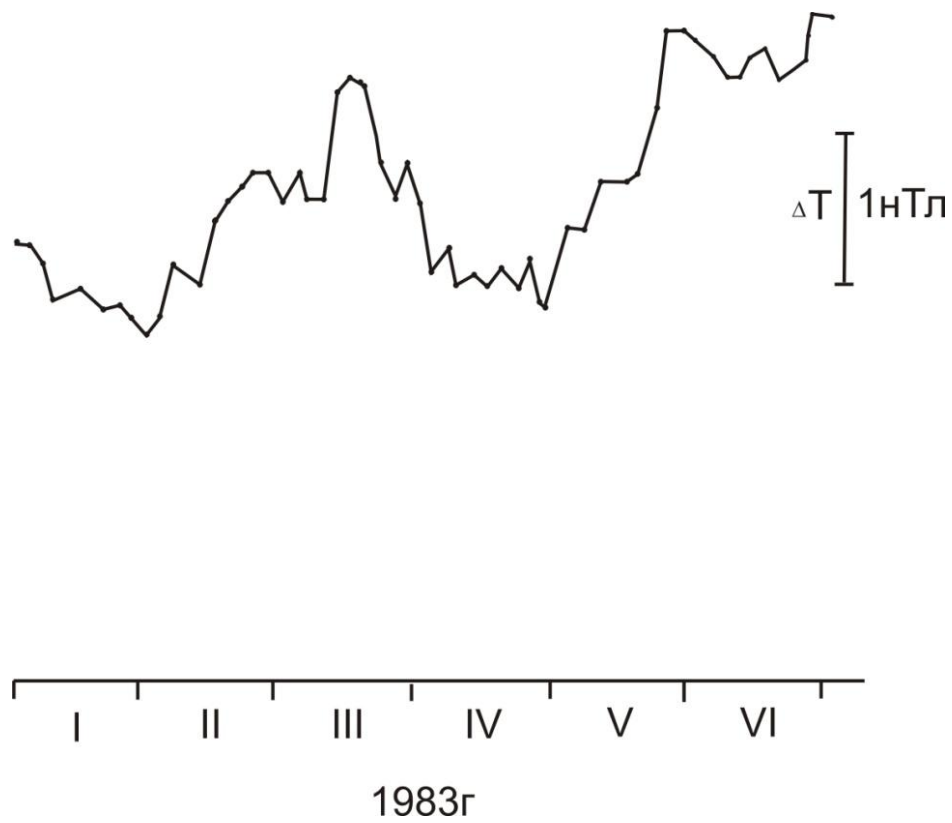


Рис.6 Локальная anomальная вариация геомагнитного поля на станции Таш Ата.

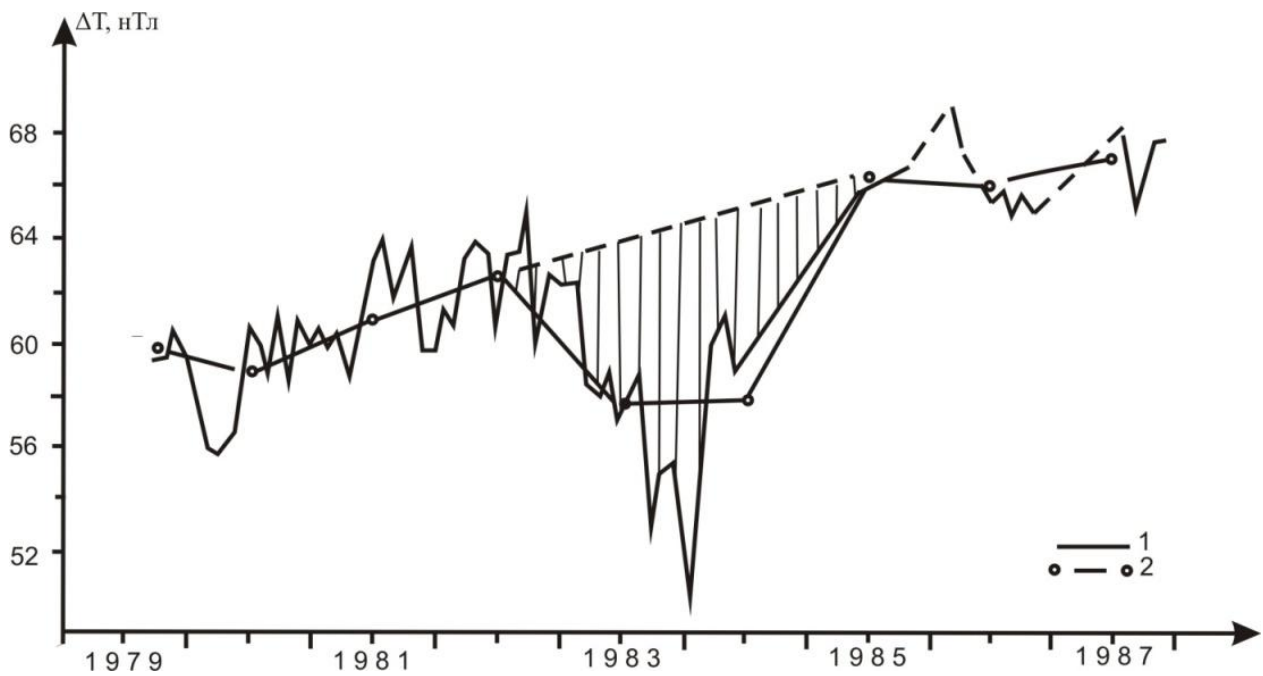


Рис.7. Локальная вариация ΔT на пункте повторных наблюдений № 30. Восточно- Ферганского полигона.
1- среднемесячные значения T ; 2- среднегодовые.

В третью зону вошли 15 пунктов. В этой зоне в 1980-1981 гг. поле также уменьшается, с минимальным значением в 1980 г. (кривая 2, рис. 8). Далее до 1983 г. поле возрастает, затем поле опять уменьшается до 1987 г. Изменение поля в этой зоне имеет синусоидальную форму, период порядка 7,5 лет. Средняя величина амплитуды по зоне -5,3 нТл. Наибольшее амплитуда изменение наблюдается в центральной части зоны на пунктах 3, 4, 19 и 22, где значение составляет 6-7 нТл. Зона занимает восточную часть полигона.

Следует отметить, что границы между выделенными зонами имеют сложную конфигурацию, особенно, между II и III – зонами. Возможно, такую же сложную форму имеет граница между I и II зонами. В данном случае количество пунктов оказалось недостаточным для более четкого её проведения.

Ширина зон разная на разных участках полигона. Судя по характеру затухания интенсивности поля в пределах II и III зон, площадь проявления локальных аномалий выходит за пределы территории исследований.

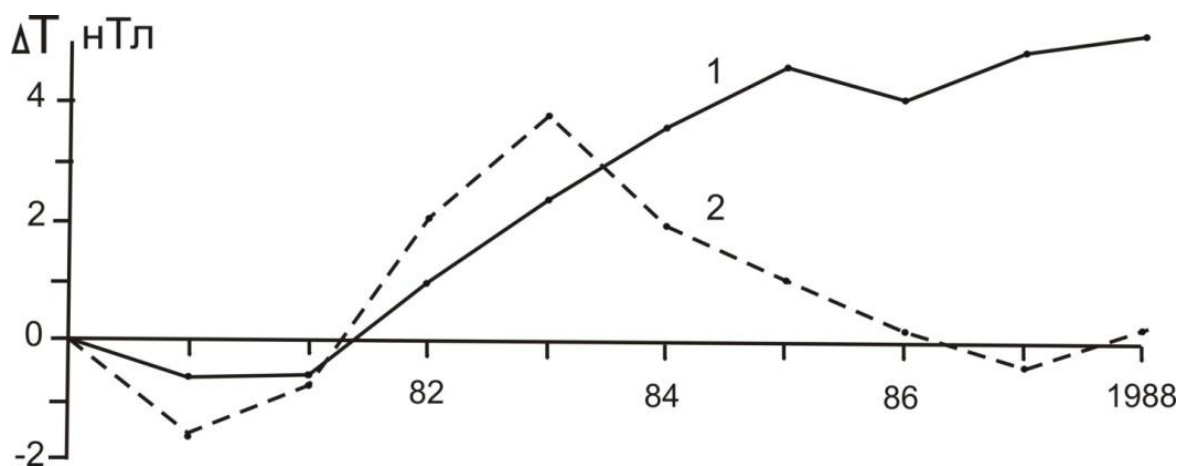


Рис.8. Характер длиннопериодных изменений поля в зонах Восточно-Ферганского полигона.

Теперь о результатах выявления длиннопериодных региональных изменений геомагнитного поля на территории Ташкентского геодинамического полигона. Приводятся изменения геомагнитного поля на пунктах повторных съемок относительно магнитной обсерватории Янгибазар за период 1989-1992 гг. Следует отметить, что за данный период на Ташкентском полигоне и на прилегающих территориях ощутимых или сильных землетрясений не происходило, а также не замечена активизация сейсмического фона. За рассматриваемый период на большинстве пунктов полигона проявилась бухтообразная аномалия отрицательного знака с продолжительностью около 3 лет. Аномалия проявилась на 30 из 40 пунктов, расположенных, в основном, вдоль регионального Каржантауского разлома: вокруг чаши Чарвакского водохранилища и далее в юго-западном направлении по маршруту Чарвак – Газалкент – Таваксай – Чирчик – Майский – Гишткуприк – Сарыагач – Абайбазар – Яллама – Чиназ. Аномалия проявилась на 9 из 13 пунктов, расположенных по акватории Чарвакского водохранилища. На отрезке маршрута Чарвак- Чирчик- Гишткуприк – Сарыагач на 10 из 14 и на отрезке маршрута Сарыагач – Абайбазар – Яллама – Чиназ- на 11 из 13 пунктов. На рис. 9 приведены изменения осредненных значений ΔT на пунктах по отмеченным отрезкам маршрута. Какие особенности проявления этой региональной аномалии? Во-первых – амплитуда и продолжительность аномалии во времени уменьшается в юго – западном направлении. Если амплитуда аномалии на территории Чарвакского водохранилища составляет 7 нТл при продолжительности около 3 лет, (кривая «а» рис. 9), то на отрезке Чарвак – Гишткуприк эти параметры имеют величину 5 нТл и около 2 года (кривая «б» рис. 9). На участке маршрута Гишткуприк – Чиназ – 4 нТл и 1 год соответственно (кривая «в» рис. 9); во-вторых – от Чарвака до Чиназа, т.е. на расстоянии порядка 150 км амплитуда аномалии уменьшается всего на 3 нТл. Следовательно, можно предположить, что аномалия проявилась на большей протяженности, чем длина маршрута на полигоне.

Судя по затуханию интенсивности аномалии в юго-западном направлении «фокус» источника аномалии находится в северо-восточном направлении от Чарвакского водохранилища: в-третьих - данная аномалия не проявилась на магнитных станциях «Хумсан» и «Майск». Первая расположена в 4 км к северу от Чарвакской плотины, вторая – на северной окраине поселка Майск. Отметим, что на этих станциях изменение поля разное и не совпадает как между собой, так и с изменениями поля на близрасположенных пунктах повторных съемок. Эта региональная аномалия на территории Ташкентского геодинимического полигона проявляется впервые с 1968 года. Избирательность проявления этой региональной аномалии на пунктах повторных съемок и стационарных наблюдений говорит о том, что граница площади проявления аномалии имеет сложную конфигурацию на плане.

Первые пункты повторных наблюдений геомагнитных наблюдений по акватории крупного водохранилища Чарвак были заложены в декабре 1973 г. Наблюдения в 1973-1975 гг. проводились на 26 пунктах. Были заложены 8 пунктов повторных наблюдений вдоль автомобильной дороги Газалкент - Чимган - Юсупхана. В 1976 г. их количество увеличилось до 35 [10]. На двух местах по акватории водохранилища в 1978 г и 1981 г. были установлены автономные магнитные станции непрерывного режима измерений [11]. Частота измерения магнитного поля 1 час.

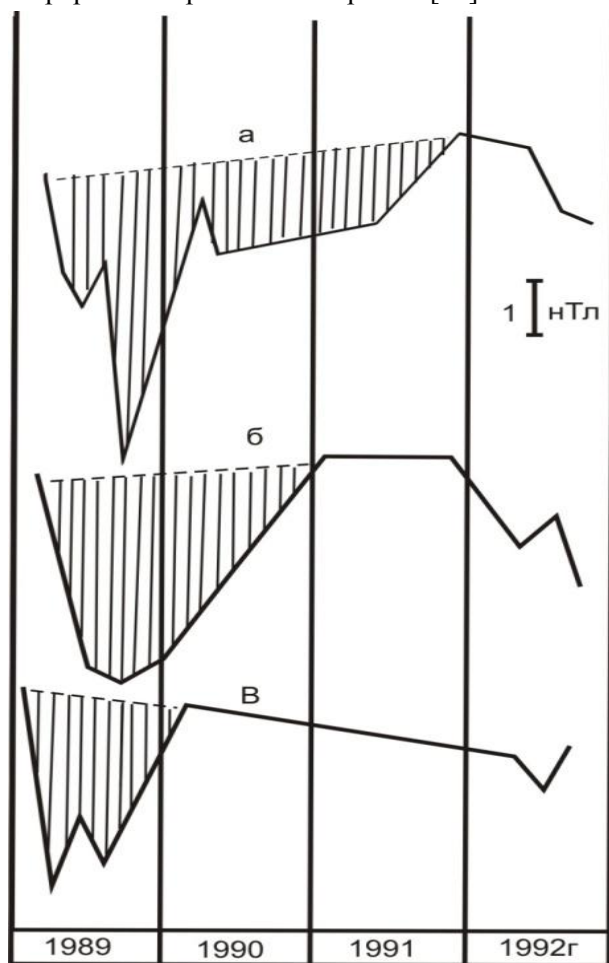


Рис.9. Проявление бухтообразной региональной аномальной вариации геомагнитного поля на пунктах Ташкентского геодинимического полигона: а - в районе Чарвакского водохранилища; б - по маршруту Чарвак - Сарыагач; в - по маршруту Сарыагач – Чиназ.

При детальном анализе динамики и морфологии локального изменения поля в районе водохранилища за 1974 -1979 гг. пункты разделились на три группы. По характеру изменения пункты объединились в зоны (рис. 10).

Зона «а» занимает южную часть исследуемой территории. Она охватывает зону исследований вдоль автомобильной дороги Газалкент – Чимган – Юсупхана. Зона «б» охватывает южную и юго-западную часть. Всю остальную территорию исследований занимает зона «в». Видно, что зоны имеют сложную конфигурацию. На рис 11. приведено изменение осредненных значений ΔT по трем зонам.

В зоне «а», наряду с квазисинусоидальным изменением, четко проявляется медленная трендовая составляющая. Величина трендовой составляющей порядка 5,5 нТл за 6-ти летний период исследований.

Морфология высокочастотной части изменения поля в зоне «б» несколько отличается от морфологии в двух других зонах. Здесь небольшое трендовое изменение наблюдается в 1974-1976 гг. и далее оно исчезает (смотрите кривой среднегодовых значений – пунктирная линия).

Синусоидальное изменение наиболее интенсивно проявляется в зоне «в». Здесь трендовая составляющая такая же, что и в зоне «б». Квазисинусоидальное аномальное изменение во всех трех зонах проявляется в 1974-1976 гг. с минимальным значением в середине 1976 г. Далее до 1979 г. среднегодовое значение поля меняется незначительно.

Далее приводятся результаты геомагнитных исследований на территории Ташкентского геодинимического полигона за период 2004-2019 гг. Измерения проводились на пунктах,

расположенных в зоне регионального Каржантауского разлома. Маршрут охватывает также эпицентральную зону Таваксайского землетрясения 1977 г., акваторию Чарвакского водохранилища (рис. 12). Измерения геомагнитного поля проводились на 29 пунктах. Изменение поля на пунктах рассматривается относительно магнитной обсерватории Янгибазар.

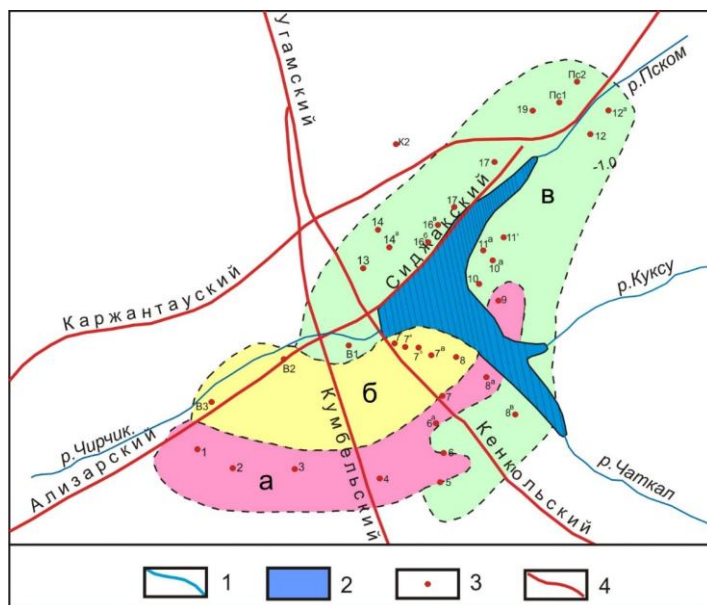


Рис. 10. Разделение территории в районе водохранилища Чарвак по характеру изменения геомагнитного поля. 1-реки; 2-Чарвакское водохранилище; 3-пункты повторных магнитных наблюдений; 4-разломы; «а»-зоны разнохарактерных изменений геомагнитного поля.

Отметим, что по характеру изменения магнитного поля пункты разделились на три зоны. Общим для всех пунктов является отсутствие каких-либо резких изменений ΔT . В первую зону вошли 14 пунктов (рис 12.).

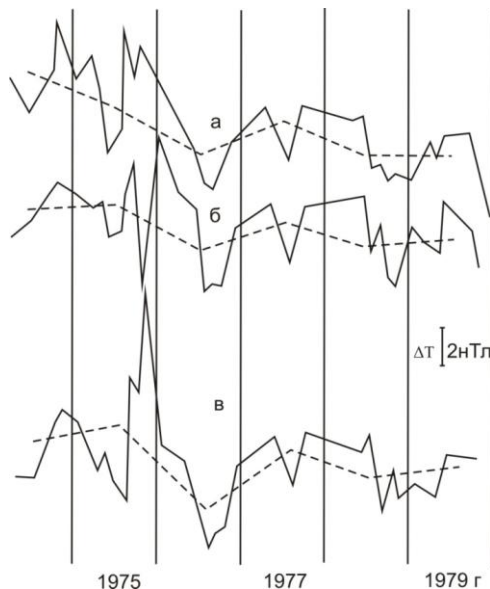


Рис.11. Динамика локального изменения магнитного поля в районе Чарвакского водохранилища.

— изменение среднемесячных значений ΔT ;
 -----изменение среднегодовых значений ΔT ;

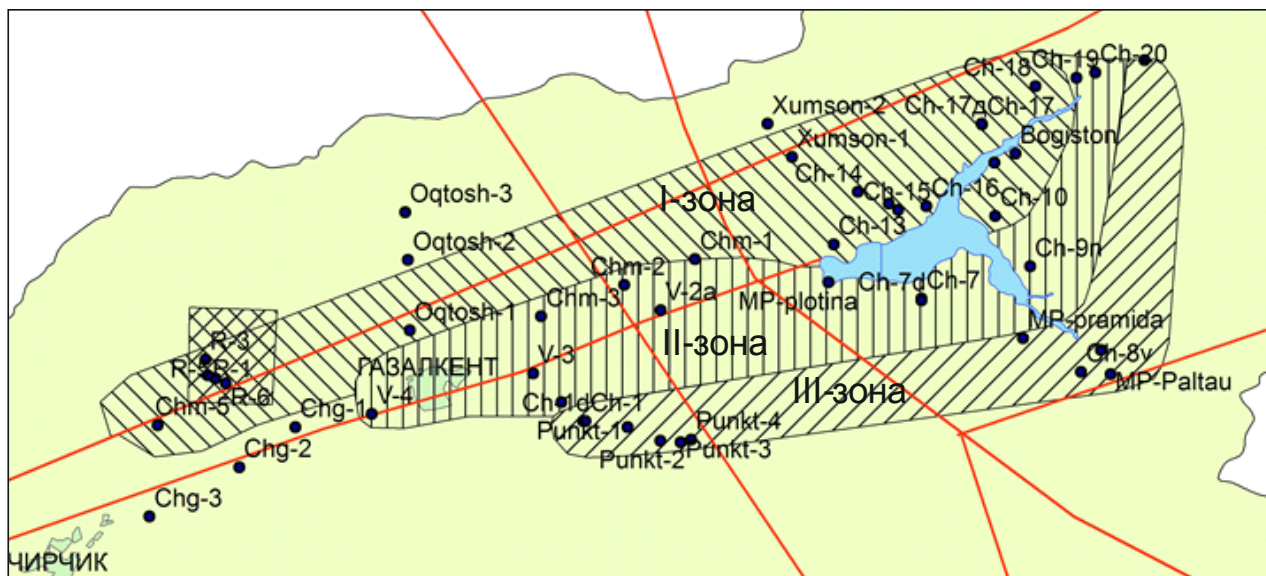
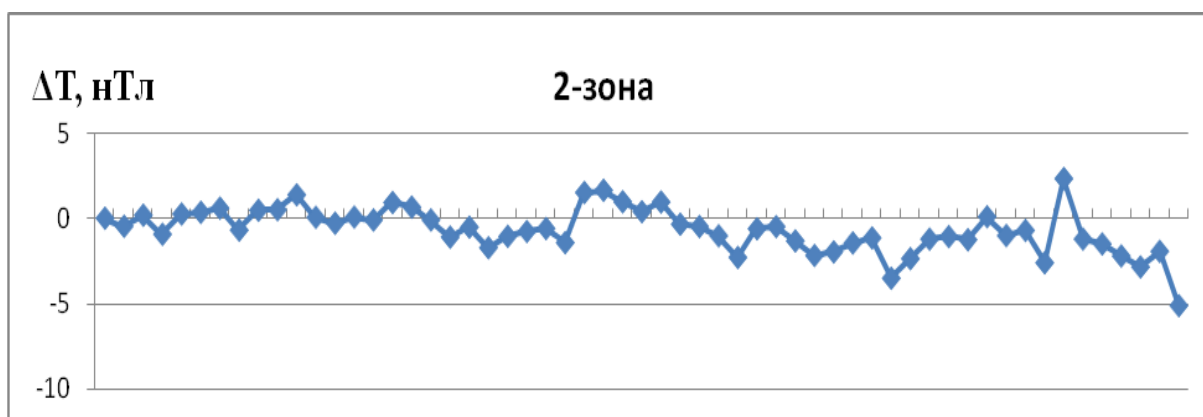
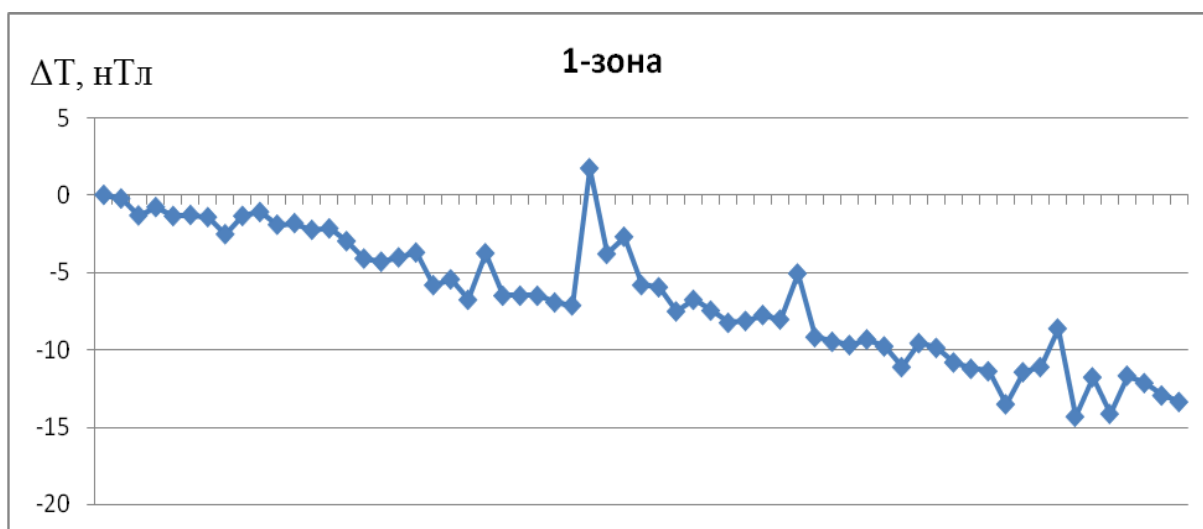


Рис. 12. Выделенные зоны по характеру изменения ΔT .

В этой зоне магнитное поле медленно уменьшается. На рисунке 12 приведено уменьшение среднего значение ΔT по 14 пунктам. Как видно, уменьшение монотонное и градиент уменьшения составляет в среднем порядка $-0,7$ нТл /год.



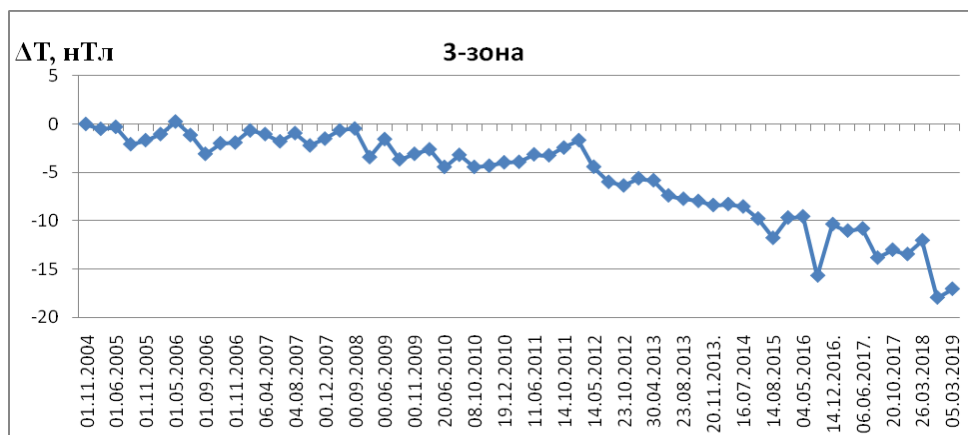


Рис. 13. Изменение средних значений ΔT на выделенных зонах.

Во вторую зону вошли 9 пунктов. Здесь (рис. 12) среднее значение ΔT почти не меняется до 2016 г. и начиная с 2017 г. наблюдается незначительное уменьшение ΔT .

В третью зону вошли 7 пунктов (кривая 3, рис. 13). Зона охватывает юг, юго-восточную части исследуемой территории. Среднее значение ΔT до 2008 года остается без изменения. За период 2009-2011 гг. поле незначительно меняется в бухтообразной форме, с возвращением к исходному уровню в конце 2011 года. Начиная с 2012 года, поле начинает монотонно уменьшаться. За этот период градиент уменьшения составляет порядка -1,9 нТл/год.

Во всех трех зонах в течение 2016-2019 гг. изменение приобретает одинаковый характер и наблюдается медленное уменьшение ΔT . Поэтому изменение поля за этот период рассмотрено отдельно.

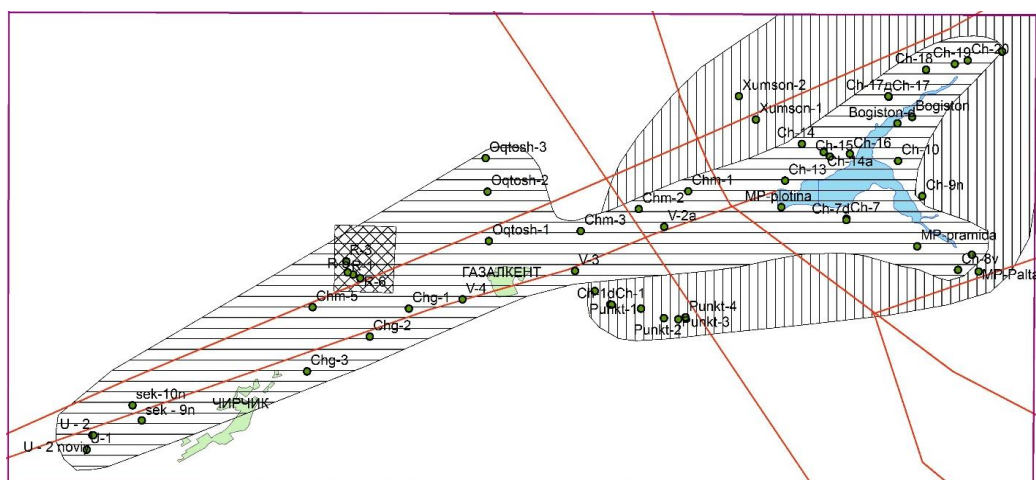


Рис.14. Выделенные зоны по характеру изменения ΔT .

Отметим, что в 2016 году были заложены дополнительные пункты повторных съемок и общее количество пунктов возросло до 48. Схема расположения пунктов приведена на рис.14. В данном случае пункты по характеру изменения поля разделились на две зоны (рис. 14). В первую зону вошли 34 пункта. Зона протягивается с юго-запада на северо-восток. Изменение среднего значения ΔT по зоне приведено на рис (кривая 2, рис. 14).

Как видно, изменение в этой зоне отрицательное. За период V.2016 г.- VI.2017 г. поле неменяется, за время VI.2017 г. - VIII.2017 г. поле уменьшилось почти на 5 нТл и на этом уровне сохраняется до VI.2019 г.

Вторая зона (кривая 1, рис. 15) занимает северо-восточную часть исследуемой территории. Она охватывает северо-восточную часть первой зоны с севера, востока и юга.

Здесь среднее значение поля составляет 2.2 нТл при изменении значения за период исследований от 0 до 5 нТл. Итак, начиная с 1973 года по 2019 год, проведенные исследования на территории Ташкентского полигона выявили локальные аномальные изменения геомагнитного поля различного характера, интенсивности, продолжительности и размера площади проявления. Такой массовый характер и убедительная регистрация локальных вариаций геомагнитного поля в мировой практике геомагнитных исследований осуществлено впервые.

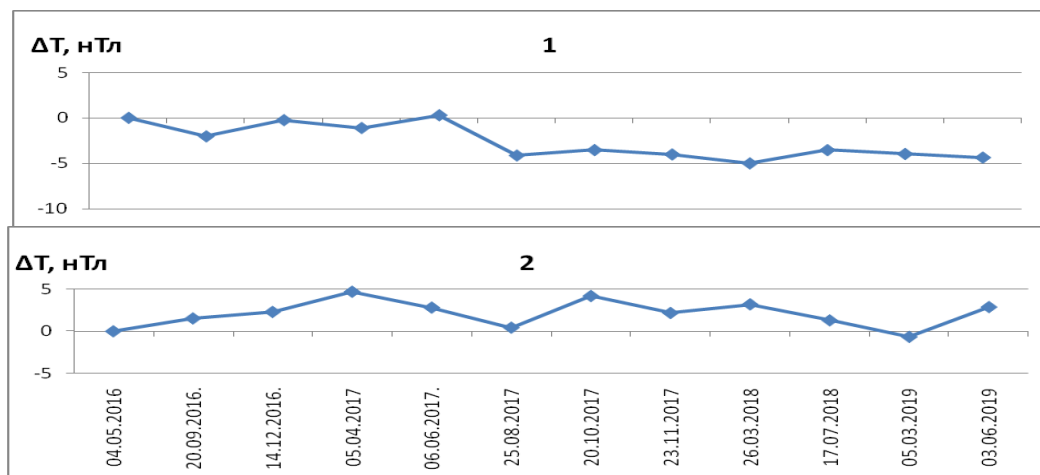


Рис.15. Изменение средних значений ΔТ на выделенных зонах.

Зарегистрированные локальные вариации имеют различную интенсивность, форму проявления, продолжительность и размер по площади. Подробный анализ площади и времени проявления локальных аномалий показал отсутствие какой-либо связи их с геолого-тектоническими, гидрогеологическими, геоморфологическими особенностями исследованных территорий. Они также не связываются с геофизическими особенностями земной коры, сейсмическим режимом или отдельными сильными землетрясениями, произошедшими в регионе.

Обсуждение результатов. В результате более 50-ти летних геомагнитных исследований на территориях геодинамических полигонов Узбекистана были выявлены локальные аномальные изменения геомагнитного поля, обусловленные процессами подготовки сильных ($M \geq 5$) землетрясений, эксплуатацией подземных естественных газохранилищ, нефтяных и газовых месторождений. Выявлены также многочисленные локальные аномальные изменения, обусловленные процессами, происходящими в различных глубинах в земной коре, возможно, и верхней мантии. Полученные результаты являются итогом проведенных высокоточных, частых (от 1 раза в 15 дней до 3-4 раза в году) измерений поля на пунктах повторных съемок и функционированием многочисленных (15-25) магнитных станций стационарного режима на территориях геодинамических полигонов Узбекистана.

Какие за последние 50-60 лет имеются опубликованные данные изветстные на сегодня по исследованию локальных аномальных вариаций геомагнитного поля разноглубинного происхождения?

Еще в начальной стадии геомагнитных исследований по изучению векового хода магнитного поля земли В.П. Орловым, В.С. Соколовым в середине 1960-х годов было выявлено в районе Хабу-Рабат (Таджикистан) интенсивное проявление локальной аномалии [12]. Аномалия проявилась только в одном пункте векового хода. Позже, специальные исследования на этом пункте показали, что изменение поля было вызвано потерей первичной термоостаточной намагниченности изверженных (диабазы, порфириды) пород и возникновением в них более слабой вторичной намагниченности [13].

К.Н. Абдуллабеков проанализировал данные мировой сети магнитных обсерваторий. На некоторых обсерваториях были выделены аномальные изменения вертикальной составляющей магнитного поля. По его мнению источники этих региональных аномалий могут находиться в земной коре и верхней мантии [1].

И.Г. Золотов анализировал изменение среднегодовых значений элементов геомагнитного поля для трех обсерваторий – Алибаг, Абинджер – Хартленд и Цо-Зе [14]. Им обнаружено, что на фоне плавного низкочастотного изменения наблюдаются высокочастотные нерегулярные колебания. Периодичность низкочастотной части векового хода на обсерваториях Алибаг и Абинджер – Хартленд находится в пределах 80-150 лет, а на обсерватории Цо-Зе – около 40 лет. Высокочастотная часть векового хода на всех трех обсерваториях представляет собой сложную кривую со значительно меньшими периодами. О природе последней ничего не сказано.

В.А. Шапиро и З.И. Борисова проводили исследование аномалий векового хода на Среднем Урале [15]. Выявлены две локальные аномалии – Манчажская и Буткинская. Манчажская аномалия имеет длину 15 км, а Буткинская аномалия – 60 км. Источниками этих аномалий считаются теллурические токи, протекающие в земной коре.

В.А. Шапиро, анализируя данные о природе аномалий векового хода (АВХ) геомагнитного поля, в частности, приводит результаты подробного анализа проведенного в 1988 г. Ф.Д. Стейси. Отмечается, что оценки предполагаемых пьезомагнитных вариаций были сильно преувеличены [16]. Материалы, полученные в различных регионах СНГ, и за рубежом не позволяют объяснить наблюдаемые АВХ с позиций пьезомагнетизма. Поскольку, во многих случаях в районах аномальных изменений отсутствуют магнитные породы. Характеристики этих АВХ говорит о том, что источником их скорее всего являются изменения теллурических токов, генерируемых в литосфере, что вряд ли случаев подтверждается прямыми синхронными измерениями вариаций этих токов.

Наиболее приемлемыми механизмами возникновения электрических токов в литосфере считаются электрокинетический и термоэлектрический.

Электрокинетический, когда теллурический ток меняется при перемещении флюидов в ослабленных зонах земной коры.

Термоэлектрический, когда источником тока является термо ЭДС. Возможность возникновения таких токов подтверждена теоретически и экспериментально. Аномальные вариации в обоих случаях могут достигать десятки нанотесла. [16].

Научной станцией Института высоких температур российской академии наук с 1982 года на территории Бишкекского геодинамического полигона (Киргизия) на пяти станциях были организованы режимные наблюдения геомагнитного поля [17]. В 1985 г. добавилась шестая станция. С 1988 г. по 1991 г. к существующим станциям добавились ещё четыре станции. На опорной станции Аксу дискретность измерений составляла 20 с, на остальных станциях – 20 мин. В 1992 г. в сеть геомагнитного мониторинга были включены 11 пунктов повторных наблюдений. Периодичность измерений на этих пунктах составляла 3-5 дней. Одним из выводов за длительный период наблюдений заключается в том, что во временных рядах ΔT всегда присутствуют незначительные и значимые вариации геомагнитного поля. Причем на разных пунктах сети характер вариации также различен. Предполагается, что различия в протекании вариации могут быть связаны: с расположением конкретной станции относительно источника деформационного процесса; с различием физических, в том числе и магнитных свойств пород; с разным геологическим и геоэлектрическим строением разреза под отдельно взятой станцией; с присутствием в районе расположения пунктов наблюдения токовых систем различной природы, не связанных с геодинамическими процессами [18].

Как видно, данные по исследованию локальных аномальных вариаций геомагнитного поля очень незначительны, и высказывания о природе этих аномалий также на уровне предположений.

Итак, локальные аномальные вариации проявляются с линейными размерами от первых единиц до 100 и более километров. Следовательно, источники этих аномалий, видимо, располагаются в различных глубинах в земной коре и верхней мантии.

Следует полагать, что чем больше размер площади проявления аномалий, тем глубже должен располагаться источник аномалии.

Формы проявления локальных аномалий в большинстве случаев – бухтообразная, синусоидальная, трендовая. Бухтообразные и трендовые формы имеют как положительный, так и отрицательный знаки. Их интенсивность может составлять от 2-3 до 25 и более нТл. В случае проявления в виде тренда градиент изменения составляет от 0,5-10 до 3 и более нТл/год.

Как показывают результаты длительных наблюдений на территории Ташкентского геодинамического полигона, в частности в районе Чарвакского водохранилища, форма

проявления, размеры площади, интенсивность аномалий не остаются постоянным. Все они меняются со временем. В связи с этим их невозможно связывать с геолого-тектоническими, геофизическими особенностями исследованных территорий. Что касается природы этих аномальных вариаций, в вышеприведенном обзоре литературных данных о природе ничего не говорится [14] или отмечается, что они могут быть связаны с эффектом пьезомагнетизма, токами электрокинетической природы, теллурическими токами, термо ЭДС [16, 17]. Как видно, данные по исследованию АВХ очень незначительны, и высказывания о природе этих аномалий также на уровне предположений. Для обоснования работы каждого из отмеченных механизмов требуются специальные геолого-тектонические, гидрогеологические, геофизические и другие исследования. Таких детальных опубликованных данных, по территориям проведенных геомагнитных исследований, не имеется.

В нашем случае, т.е. локальные аномалии регионального характера, которые проявились на территориях восточной Ферганы и Ташкентского геодинамического полигона кроме перечисленных возможных механизмов, не приурочены также к зонам аномальной электропроводности, которые были выявлены в [9, 19]. Более мелкие по площади проявления локальные аномалии, например, в районе Чарвакского водохранилища, не могут быть объяснены эффектом пьезомагнетизма, электрокинетикой, теллурическими или термоэлектрическими токами. Также не поддается объяснению за счет геолого-тектонических, гидрогеологических и геофизических условий района. Самые малые по линейным размерам локальные аномалии, которые проявились на единичных пунктах повторных съемок и на некоторых станциях стационарных наблюдений, являются аномальными вариациями, зарегистрированными впервые на достаточно большом количестве магнитных пунктов. Линейный размер проявления этих аномалий составляет 3-5 км. Этих аномалий удалось выявлять за счет частых измерений геомагнитного поля на пунктах повторных съемок. Как было отмечено выше, частота измерений составляла от 2 раза в месяц до 3-4 раза в году. Иногда на фоне медленных длиннопериодных изменений геомагнитного поля на определенной площади может проявляться очень локальная аномальная вариация на одном или нескольких пунктах. Они выявлены также на пунктах стационарных магнитных наблюдений. Следует отметить, что на большинстве полигонов бывшего союза, как правило, измерения на пунктах повторных съемок проводились 1 раз в год.

Выводы. Результаты многолетних высокоточных геомагнитных исследований на территориях геодинамических полигонов, техногенных объектов, в эпицентральных зонах сильных землетрясений Узбекистана показали, что магнитометрический метод оказался чувствительным:

1) к изменениям напряженно-деформированного состояния земной коры, обусловленным процессами подготовки сильных землетрясений;

2) к изменениям напряженного состояния, определенного слоя земной коры, вызванным эксплуатацией естественных подземных газохранилищ, крупных водохранилищ, нефтяных и газовых месторождений;

3) к процессам в различных глубинах земной коры и верхней мантии.

В первом случае при обладании оптимальной величиной магнитных свойств пород очаговой области изменение величины избыточного напряжения может привести к изменению магнитных свойств горных пород и следовательно, к локальному изменению геомагнитного поля в эпицентральной зоне готовящего землетрясения.

Во втором случае также меняется напряженное состояние геологической среды за счет изменения объема газа и воды в подземном газохранилище и водохранилище соответственно в данном случае. При малых значениях магнитных свойств пород магнитный эффект может появляться за счет электрокинетического эффекта.

Здесь аномальные вариации регионального характера могут быть вызваны теллурическими токами и термо ЭДС [16, 17] В этом случае остаётся не выясненным вопрос об избирательности проявления аномальной вариации на пунктах маршрута исследованных территорий геодинамических полигонов Узбекистана. Аномальные вариации, которые проявились в большинстве случаев на одном пункте, пока не поддаются объяснению какими-либо из существующих механизмов, кроме одного случая [13]. Пункты проявления локальной аномальной вариации не отличаются от соседствующих пунктов по литологии, геоморфологии, гидрогеологических полей и др. Достаточно большое количество пунктов проявления такой

локальной аномальной вариации на исследованных территориях Узбекистана - уникальное явление. Оно требует более тщательного изучения путем организации и проведения комплексов геофизических исследований. Этот факт имеет также важное значение в методическом аспекте геомагнитных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений. Поскольку рассмотренные выше аномальные вариации сравнимы по величине, форме с предвестниковыми аномалиями. При проведении высокоточных геомагнитных исследований с достаточно высокой частотой измерений, выявленные аналогичные пункты будут исключены из анализа данных при оценке достоверности выявленных предвестниковых аномальных вариаций. Как известно, аномальная вариация считается достоверной, когда аномалия проявляется одновременно в нескольких геолого-геофизических параметрах, исследуемых по проблеме прогнозирования сильных землетрясений.

Литература

1. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х. *Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов.* Изд-во "ФАН", Ташкент, 1975. 128 с.
2. *Электрические и магнитные предвестники землетрясений.* Под редакцией В.П.Головкова. Изд-во "ФАН", 1983, 135 с.
3. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е.Б. Максудов С.Х. Туйчиев А.И. *Первые результаты геомагнитных исследований в районе газового месторождения Шуртан.* Узбекский геологический журнал, 1994, №2, С.16-18.
4. Абдуллабеков К.Н., Шапиро В.А. *Наблюдения вариаций геомагнитного поля во время Газлийского землетрясения 17 мая 1976г.* Геомagnetизм и Аэрономия. Том XVIII, №1, 1978, С.177-179.
5. Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И. *Особенности проявления предвестников землетрясений с расстоянием и размеры геотектонических блоков.* Доклады АН РУз 2016 №.3. с. 59-61.
6. Abdullabekov K.N. *Electromagnetic phenomena in the earth's Crust* A.A.Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1991, 169 p
7. Туйчиев А.И. *Аномальные изменения геомагнитного поля, обусловленные сейсмогеодинамическими техногенными процессами на территории Узбекистана.* Геология и минеральные ресурсы.- 2007.- №3.- С.52-54.
8. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. *Результаты многолетних исследований аномальных вариаций геомагнитного поля, обусловленных сейсмогеодинамическими и техногенными процессами.* Геология и минеральные ресурсы. - 2016. - № 4. - С.56-60.
9. Муминов М.Ю. *Пространственно-временные особенности проявления сейсмомагнитного эффекта в Узбекистане в прогнозировании землетрясений.* Дисс. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. Ташкент ИС АН УзССР- 1990. 130с.
10. Бердалиев Е. *Локальные изменения геомагнитного поля и их связь с сейсмотектоническими процессами в земной коре.* - Дисс на уч. степ. канд. физ.- мат. наук. ИЗМИРАН СССР. -1980. -127с.
11. Цветков Ю.П., Поляков В.В. и др. *Протонный магнитометр ПМ-001. Геомагнитные приборостроение.* Наука:М. 1977. С.3-8.
12. Орлов В.П., Соколов В.П. *Вековой ход геомагнитного поля и его аномалии. Настоящее и прошлое магнитного поля земли.*- Наука: М. 1965. С. 27-34.
13. Барсуков О.М. и др. *О природе одной из аномалий векового хода магнитного поля Земли.* Физика Земли. 1968. №9. С.85-87.
14. Золотов И.Г. *О разделении векового хода на гладкую и случайные части.* Тезисы докл. VIII-конференции по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. М. 1970. С. 23-26.
15. Шапиро В.А. Борисова З.И. *Аномалии векового хода на Среднем Урале.* Материалы IX конференции по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. Ч.1. Баку. 1973. С.144-145.
16. Шапиро В.А. *О природе аномалий векового хода геомагнитного поля.* Тезисы док. III- всесоюзного съезда по геомагнетизму. Киев.1986. С. 89-90.
17. Мухаммадеева В.А., Воронцова Е.В., Лазарева Е.А., *Исторические аспекты геомагнитных наблюдений на Бишкекском геодинамическом полигоне.* Тезисы докладов шестого Международного симпозиума «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных хорогенов». Бишкек. 2014. С.207-211.
18. Волыхин А.М., Брагин В.Д., Зубович А.В. и др. *Проявление геодинамических процессов в геофизических полях.* Наука: М. 1993. 158с.
19. Бабаджанов Т.Л., Басов М.Д. и др. *Южно-Тянь-Шаньская аномалия электропроводности.* Изв. АН СССР. Физика Земли. 1986, №7.с.79-90.

УДК 556.3+550

Хусомиддинов С.С.¹, Староватов А.А.², Садиров Ф.Х.¹

О РОЛИ ПРИЛИВНЫХ СИЛ В СЕЙСМОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

¹Институт сейсмологии имени Г.А. Мавлянова АН РУз, Ташкент,

²Научно-исследовательский гидрометеорологический институт Узгидромета РУз

Khusomiddinov S.S., Starovatov A.A., Sadirov F.X.

O'Z R FA Seismologiya instituti Toshkent

SEISMOGEN JARAYONLARDA TOSHMA DEFORMATSIYALAR O'RNI

Annotatsiya. O'rta Osiyo va Qozogiston hududida 1900-yildan 1974-yilgacha sodir bo'lgan kuchli zilzilalar saralandi, davrni qoplash usuli asosida ko'pchilik zilzilalar sodir bo'lish vaqti yangi oy fazasiga mos kelishi aniqlandi. 2025-yilgacha bo'lgan davrgacha yilma-yil sodir bo'ladigan kuchli zilzilalar soni modeli ishlab chiqildi. Toshma deformatsiyalar dinamikasi tahlili natijasida, zilzila tayorlanish mintaqasi vaqtida ularni shiddatlanish hodisasi aniqlandi.

Kalit so'zlar. Oy Quyosh toshma kuchlari, Quyosh tizimini barimarkazi, Toshma deformatsiyalar dinamikasi, yer qobig'i, zilzila ehtimolini prognozi.

Хусомиддинов С.С.¹, Староватов А.А.², Садиров Ф.Х.¹

Институт сейсмологии АН РУз, Ташкент

О РОЛИ ПРИЛИВНЫХ СИЛ В СЕЙСМОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Аннотация. Составлена выборка сильных землетрясений Средней Азии и Казахстана с 1900 по 1974г. Методом наложения эпох выявлено, что наибольшее количество моментов землетрясений приурочено к фазе новолуния. Представлена модельная оценка возможного количества сильных землетрясений до 2025 г. В результате анализа динамики приливных вариаций газовых и физических параметров подземных вод установлена нарастающая их интенсификация в области и периоды подготовки сильных землетрясений.

Ключевые слова. Лунно-Солнечные приливы, барицентр Солнечной системы, динамика приливных сил, земная кора, деформации, прогноз вероятности землетрясений.

Khusomiddinov S.S., Starovatov A.A., Sadirov F.X

Institute of Seismology, Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

ON THE ROLE OF TIDAL FORCES IN SEISMOGENIC PROCESSES

Annotation. A sample of the strong earthquakes of Central Asia from 1900 to 1974 was compiled. By the method of superposition of epochs it was revealed that the greatest number of moments of earthquakes is confined to the phase of the new moon. A model estimate of the possible number of strong earthquakes up to 2025 is presented. As a result of the analysis of the dynamics of tidal variations of the gas and physical parameters of groundwater, their intensification in the region and periods of preparation of strong earthquakes were established

Key words: Lunar-Solar tides, the barycenter of the Solar system, the dynamics of tidal forces, the earth's crust, deformations, earthquake probability forecasts

Введение. Проблема прогноза землетрясений в реальном времени одна из актуальных задач современной геофизики. Несмотря на многовековую актуальность и наличие множества инициативных исследований, целевая государственная программа по созданию методологии прогноза землетрясений впервые была принята в 1966 году с организацией Института сейсмологии при Академии наук Республики Узбекистан. На этапах масштабных полевых, лабораторных и теоретических исследований в Узбекистане и ряде др. стран выявлено множество аномальных проявлений перед землетрясениями в вариациях параметров геофизических, гидрогеологических, геодинамических и сейсмических полей, а также изданы каталоги предвестников землетрясений [1-9]. На их основе разработан ряд качественных моделей подготовки землетрясений [10, 11], в которых рассматриваются сейсмогенные процессы только эндогенной природы и не обсуждаются возможные источники экзогенной или космической природы.

Землетрясения являются производной напряженно-деформированного состояния земной коры, которое происходит при превышении аномальных деформаций предела прочности консолидированного массива горных пород. В работе Н.В.Короновского [12] проведена систематизация всевозможных источников напряжений в земной коре по трем классам:

- эндогенные процессы, происходящие в земной коре и мантии, которые генерируют поле напряжений и геодинамику в планетарном масштабе;
- экзогенные факторы инженерно-геологической и техногенной природы;
- факторы космической природы, например ротационные силы, скачкообразное изменение скорости вращения планеты, а также приливные воздействия Луны.

К выше приведенным источникам следует добавить градиентные атмосферные потоки [13] и солнечные факторы напряжений в земной коре гравитационной [14], возможно и электромагнитной природы. Известно также, что барицентр солнечной системы может смещаться относительно центра Солнца на 0.8-0.9 его радиуса, что изменяет конфигурацию гравитационных полей Солнечной системы [15] и способно оказывать влияние на гравитационные процессы в литосфере и мантии земли.

В настоящее время известно множество исследований ученых России, США, КНР, Японии и ряда др. стран, посвященных возможным влияниям приливных факторов на сейсмогенные процессы. В большинстве этих исследований, влияние приливных деформаций на сейсмичность рассматривается как спусковой механизм готовящегося тектонического землетрясения, при этом моменты подземного толчка сопоставляются с фазами Луны. Весомый вклад в изучении этой проблемы внесли ученые России. В результате детализованных исследований, А.В.Николаевым [16] установлен ряд особенностей пространственно-временных связей сильных землетрясений с приливными фазами Луны. Заслуживают особого внимания результаты исследований ученых Сибирского отделения РАН по рассматриваемой проблеме, например в работах [17, 18] выявлены характеристики и механизмы проявления модуляции слабой сейсмичности приливными деформациями с достаточным математическим обоснованием, а также их особенности перед конкретным сильным землетрясением [19, 20].

В целом результаты выше представленных исследований модуляции слабой сейсмичности приливными деформациями представляются очевидными. В то же время результаты сопоставительного анализа моментов генерации сильных землетрясений с приливными деформациями, указывают на возможность совпадения момента подземного толчка с разными фазами луны с преобладанием фазы новолуния. Упомянутые исследователи связывают это положение с геолого-тектоническими особенностями сейсмогенных зон, механизмами очагов землетрясений и др. возможными факторами. В настоящей научной работе представлены результаты исследований возможной обусловленности сильной сейсмичности на территории Центральной Азии приливными факторами.

Основная цель - повышение эффективности методологии прогноза вероятности землетрясения в реальном времени.

Задачи включают: сопоставительный статистического анализа моментов сильных землетрясений с фазами луны; создание модели сейсмичности, с прогнозной оценкой возможного числа сильных землетрясений на перспективу; выявление и анализ особенностей динамики приливных вариаций в области подготовки землетрясений, а также оценка возможности их практического использования в мониторинге относительных изменений напряженно-деформированного состояния земной коры.

В качестве источника изменений напряженно-деформированного состояния земной коры Центральной Азии рассмотрены Лунно-Солнечные приливы и гравитационное воздействие Солнечной системы на нашу планету.

Методика и результаты исследований. Для реализации первой задачи составлена выборка сильных землетрясений на территории Средней Азии и Казахстана. В выборку включены инструментально зарегистрированные землетрясения с магнитудой $M \geq 4.5$ из «Новый каталог землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 года» (под редакцией Кондорской Н.В. и Шебалина Н.В.), за период 1900-1974 гг, который обладает достаточной достоверностью. Далее составлена матрица землетрясений за 16 суток до и после землетрясения. Дата наличия землетрясения отмечается единицей, а отсутствие нулем. Полученный длинный ряд нолей и единиц каждого столбца анализируется методом наложения эпох. За реперную дату принято новолуние. В этой фазе приливные силы Луны и Солнца максимальны. На рис. 1 приведено суммарное количество землетрясений на территории Средней Азии и Казахстана за период 1900-1974 гг., распределенных по фазам луны. Как видно, наибольшее число землетрясений приурочено к фазе новолуния.

Для построения прогнозной модели количества сильных землетрясений по годам, прежде всего, определен спектр Фурье кривой суммы землетрясений за год. Известно, что период спектральных составляющих, в силу ограниченности длины ряда, определяется не точно. Фаза же в начальной точке вообще не определяется.

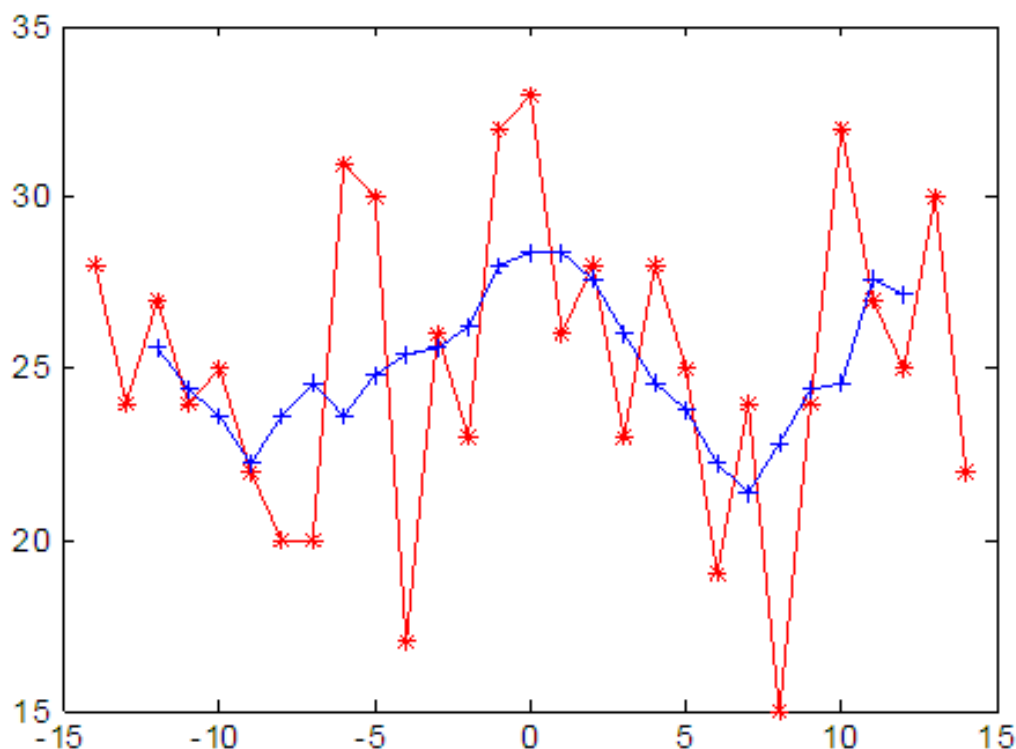


Рис.1. Суммарное количество землетрясений в дни лунного периода в период 1900-1974 гг. Нулевая точка соответствует новолунию.

«*» - Количество землетрясений по фазам луны;

«+» - осредненное значение скользящим средним с окном пять дней.

Для того чтобы синтезировать прогностический ряд необходимо знать амплитуду, период и фазу каждой компоненты спектра. Разработан метод подстройки параметров спектральных компонент. Положим, что истинные значения периода находятся в интервале $\pm 0.1T$, где T – значения полученные из Фурье преобразования. Далее задаются пробные периоды с шагом, скажем, $0.01\Delta t$, где Δt - один год. При этом амплитуда произвольная постоянная константа. Методом оптимизации [21] подбирается такая фаза, когда среднеквадратичное отклонение разности исходного и синтезированного рядов будет минимальной. При определенном значении пробного периода последовательность среднеквадратичных отклонений достигает своего минимума. Будем считать, что период и фаза, полученные выше приведенным методом, будут близки к истинным значениям. Зная уточненные величины периода и фазы, по методу оптимизации легко найти амплитуду гармоники. Процедура повторяется для каждой компоненты спектра Фурье. Метод опробован на модельных рядах с известными параметрами. Зная параметры компонент спектра легко синтезировать прогностический ряд. Следует отметить, что к спектру Фурье были добавлены спектральные компоненты вариаций барицентра Солнечной системы с периодами 22; 30; 60 и 90 лет и лунные компоненты 9 и 18 лет. Программный комплекс реализован на языке Mat.Lab

В свете современных представлений прогноз землетрясения означает вероятностную оценку места, времени и силы ожидаемого землетрясения. В этом ряду наименее проработанной представляется методика раннего обнаружения очага или области готовящегося сейсмического события. Выше изложенные результаты могут служить дополнительным критерием оценки времени ожидаемого сильного землетрясения на краткосрочную, а разработанная модель - на долгосрочную перспективу в региональном плане. Для раннего обнаружения очага готовящегося землетрясения, оценки напряженно-деформированного состояния активизированной области с

прогнозные оценки требуется пространственно-временной мониторинг сейсмогенных зон тензочувствительным инструментарием. Наиболее динамичной и чувствительной к деформационным процессам в земной коре является флюидная среда [22]. Динамика приливных деформаций.

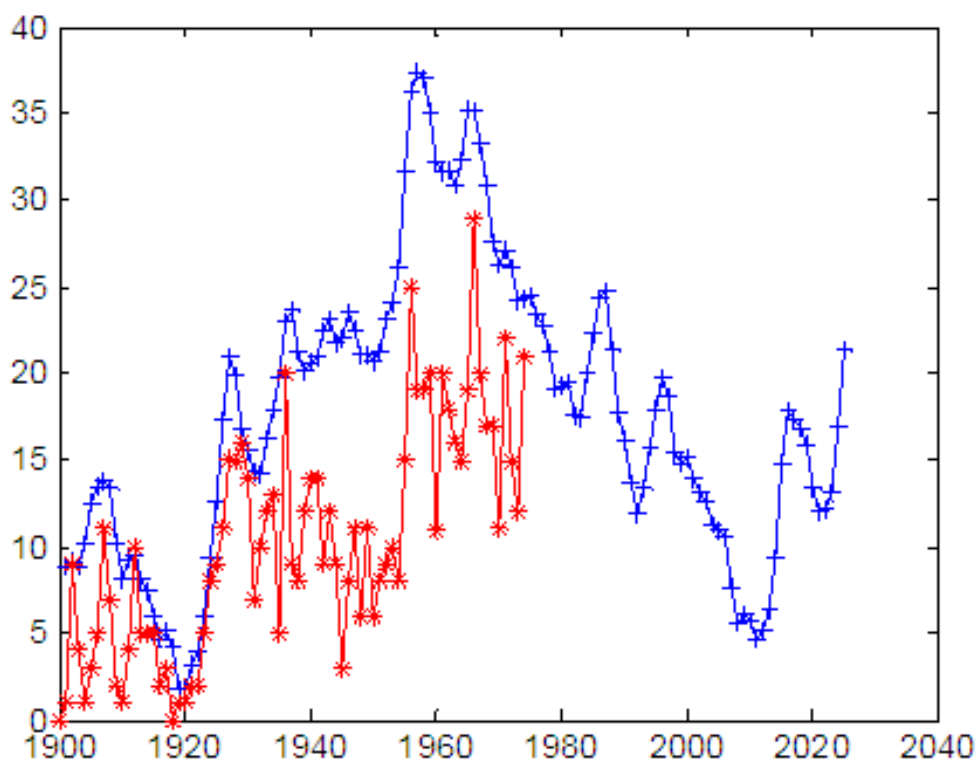


Рис.2. Количество ежегодных сильных землетрясений на территории Средней Азии и Казахстана и модель прогноза сильной сейсмичности.

«+» модельное представление сейсмичности сглаженное скользящим средним с окном осреднения три года;

«*»- временной ряд количество сильных землетрясений по годам.

Методика исследований особенностей динамики приливных деформаций основана на спектральном анализе мониторинговых параметров подземных вод на предмет выявления приливной компоненты в их вариациях. Основные периоды приливного потенциала приведены в таблице П.Мельхиора «Земные приливы» [23]. Они подразделяются на полусуточные, суточные и долгопериодные. Исходя из ежедневной дискретности измерений параметров подземных вод, для дальнейшего анализа выбраны долгопериодические типы приливных волн, период которых равен половине периода обращения притягивающего светила за счет изменения склонения. Для лунного прилива M_f период составляет две недели, а солнечного - полгода [23]. Спектральный анализ фоновых суточных вариаций параметров подземных вод проявил наличие в их структуре составляющих с периодами две и четыре недели, которые обусловлены приливообразующим потенциалом луны [14], в частности «тропическим месяцем» M_m (период возврата луны к исходной долготе, 27 суток 7 часов 43 минуты). Они с различной интенсивностью проявляются почти во всех анализируемых параметрах подземных вод.

В целях исследования особенностей приливного фактора в процессе подготовки землетрясения произведен сопоставительный анализ динамики приливной компоненты вариаций анализируемых параметров подземных вод с сильными землетрясениями на активизированной территории Восточного Узбекистана. На рис.3. приведена схема расположения анализируемых скважин, эпицентров происшедших землетрясений и основных тектонических структур региона.

В выборку землетрясений включены события, способные создать в пункте наблюдения аномальные относительные деформации превышающие амплитуду фоновых значений относительных приливных деформаций более 10^{-8} .

Анализ динамики приливной компоненты радона (R_n) в скважине «Фозилова» (Ташкентская область) проявил два интервала его интенсификации в 1982 г и 1985 г, максимумы которых совпали с Чимионским-1982 с энергией $E=10^{13,8}$ Дж. и Кайракумским 1985 с энергией $E=10^{14,6}$ Дж. землетрясениями (рис.4).

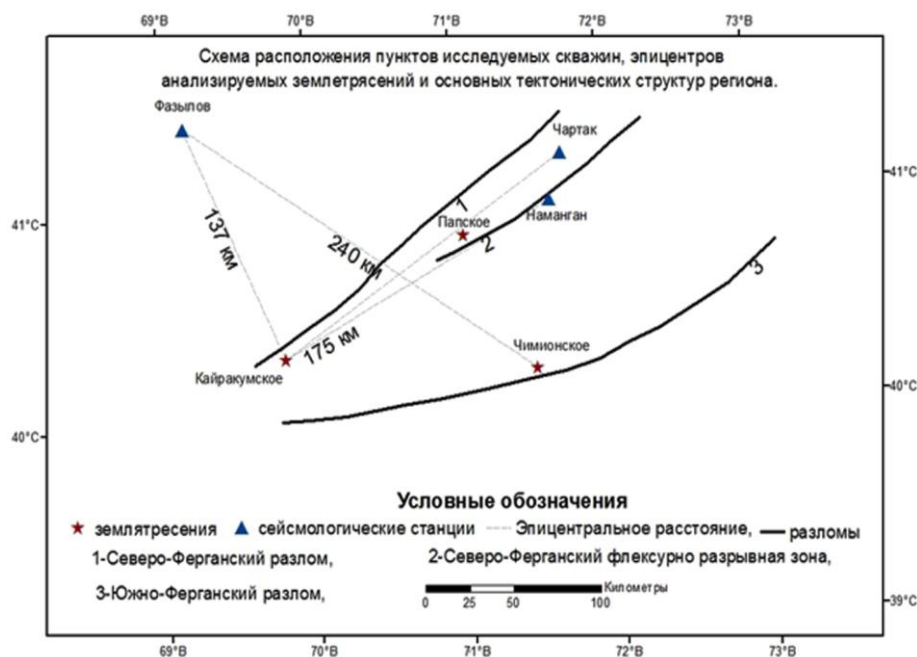


Рис. 3 Схема расположения скважин и эпицентров землетрясений.

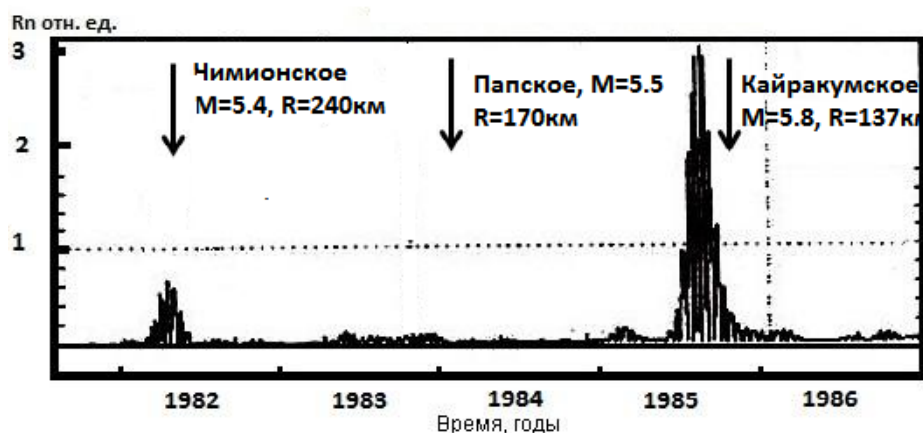


Рис. 4. Вариации приливной компоненты радона:
- R_n на скважине «Фозилова», - момент землетрясения.

Эпицентральное расстояние до этих землетрясений составляют соответственно 190 км и 110 км. Анализируемые пункты наблюдения находятся внутри теоретически оцениваемой области подготовки этих землетрясений, радиусы которых $R=e^M$ км (8) соответственно составляют 137 и 240 км, где M -магнитуда, e -основание натурального логарифма. В анализируемом интервале сейсмической активизации внутри этой зоны наблюдался также рой Папских землетрясений с главным подземным толчком 17.02.1984 г. с $M=5.5$. Оно не сопровождалось аномальными приливными вариациями, что видимо обусловлено преобладанием горизонтальной составляющей вектора тектонических напряжений. В рассмотренных примерах анализировались особенности проявления приливных вариаций подземных вод с периодом четыре недели, которые обусловлены приливообразующим потенциалом Луны. Они показали наличие эффекта аномальной интенсификации амплитуды приливных волн в области и времени подготовки землетрясения, которые очевидно обусловлены деформационными процессами.

Вторым по потенциалу приливообразующим источником является Солнце. Её долгопериодическая составляющая обусловлена изменением склонения светила и составляет шесть месяцев. На рис.5 приведена динамика этой составляющей в вариациях радона на скважине «Чартак». На этом интервале наблюдается одна аномалия солнечного прилива, на спаде которой произошло наиболее близкое и сильное Кайракумское землетрясение 1985 г. Как видно длиннопериодическая составляющая, обусловленная приливообразующим потенциалом Солнца, также наблюдается в вариациях параметров подземных вод и проявляется за несколько лет до подземного толчка.

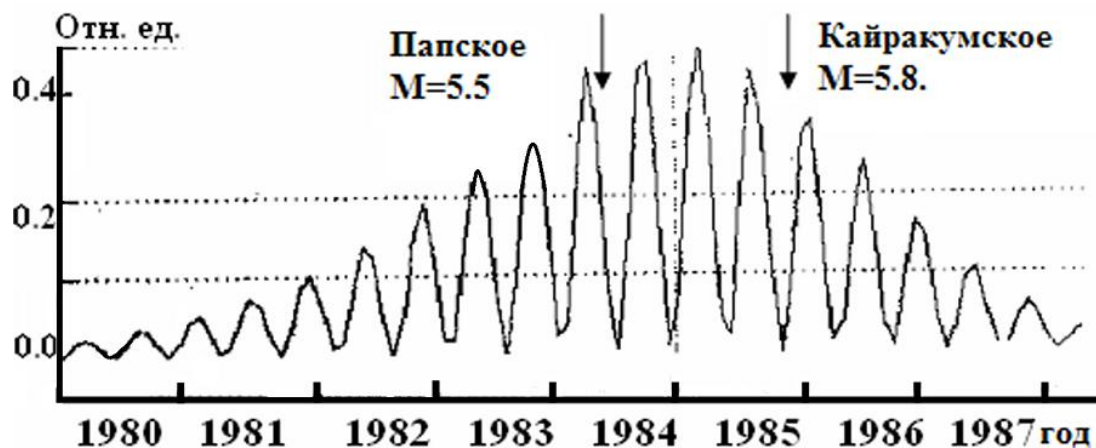


Рис. 5. Динамика полугодовых приливных вариаций радона на скважине «Чартак».

Обсуждение результатов. Флюидная среда земной коры является наиболее динамичной и может служить информативным индикатором напряженно-деформированного состояния слоев земной коры. Периодическое знакопеременное воздействие гравитационных волн способны вызывать соответствующие деформации горных массивов, которые могут проявиться и в вариациях параметров подземных вод. При этом следует ожидать усиление приливных деформаций в объемах дефектных структур горных массивов (зоны разломов, разрывных нарушений, очагов происшедших землетрясений) на 1-2 порядка, чем в целостных внутри блочных структурах. Процесс подготовки землетрясения составляет несколько лет в зависимости от его энергии и сопровождается несколькими качественными стадиями аномальных деформаций конкретного консолидированного объема земной коры под действием тектонических напряжений. Этот процесс сопровождается количественно-качественным развитием процессов трещинообразования и завершается магистральным разрывом—землетрясением. При этом по реакции подземных вод на воздействие гравитационного источника, предоставляется возможность отслеживать развитие сейсмогенных процессов в области подготовки землетрясения и его возможные предвестники.

Заключение. В ходе проведенных исследований получены ниже следующие результаты. Методом наложения эпох показано, что новолуние является наиболее вероятной фазой совпадающей с моментом готовящегося землетрясения. Создан прогнозный макет количества сильных землетрясений на перспективу до 2025 г, который испытан на реальных материалах.

Экспериментально установлено не известное ранее явление природы «Интенсификации приливных деформационных процессов в области и времени подготовки сильных землетрясений», которые наглядно проявляются в вариациях параметров подземных вод. Выявленный эффект является высоко информативным инструментом контроля напряженно-деформированного состояния земной коры, динамики сейсмогенных процессов, выявления критичных зон и периодов сейсмической активизации. Возможными механизмами это явления могут быть процессы трещинообразования, перераспределение тектонических напряжений за счет различия плотностных свойств слагающих горных массивов и другие факторы, которые требуют дальнейших исследований.

Литература

1. Зубков С.И., Соловьева Р.П. Каталог сейсмических предвестников землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР. 1986. 269 с.
2. Алимова В.А., Зубков С.И. Каталог предвестников землетрясений. Гидрогеодинамические предвестники. М.: ИФЗ АН СССР. 1983. 140 с.
3. Безуглая Л.С., Зубков С.И., Сковородки Ю. П., Алимова В. А. Каталог геомагнитных предвестников землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР. 140 с.
4. Никифорова Н.Н., Зубков С.И., Васильева Н.Э. Каталог импульсных электромагнитных предвестников землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР. 1991. 128с.
5. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М: Наука, 1993. с. 313
6. Хусомиддинов С.С. Закономерности аномальных вариаций геофизических полей в сейсмоактивных зонах Узбекистана: Автореферат докторской диссертации. Ташкент: Фан. 1990. 14 с.
7. Султанходжаев А.Н., Азизов Г.Ю., Закиров Т. и др., Гидрогеосейсмологические исследования в Восточной Фергане. - Ташкент: Фан. 1978. 188 с.
8. Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре. - Ташкент: Фан, 1989г. 231с.
9. Мавлянов Г.А. Уломов В.И. Абдуллабеков К.Н. Хусомиддинов С.С. Исследования вариации параметров естественных электромагнитных полей в целях прогноза землетрясений Уз.Геол.Журнал № 5, 1979. С.11-15.
10. Muskhin V.I., Brace W.F., Sobolev G.A., Dieterich J.H. Two models for earthquake forerunners // Pure and Appl. Geophys. 1975. Vol. 113. p. 169-181.
11. Мавлянов Г.А., Уломов В.И. Поиски предвестников землетрясений в Узбекистане // Поиски предвестников землетрясений. Ташкент., Фан, 1976, С. 25-38
12. Короновский Н.В. Источники напряжений в земной коре. Соросовский Образовательный Журнал, N1, 1997, стр.50-56.
13. Боков В.Н., Сытинский А.Д. Оперативный краткосрочный прогноз землетрясений на основе сейсмо-синоптического метода. //Научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников», МЧС, 26-27 июня, М., Центр «Антистихия», 2002, с.34-39
14. Хусомиддинов С.С. Хусомиддинов А.С. Явление нарастающей интенсификации приливных деформаций в области готовящегося землетрясения // Доклады АН РУз.- Ташкент.- №5.-2016.- С 5-8
15. Хлыстов А.И., Движение Солнца вокруг барицентра Солнечной системы и солнечная активность, Вестник Киевского университета. 1982. № 24. С. 61.
16. Николаев В.А. Пространственно-временные особенности связи сильных землетрясений с приливными фазами, М., Наука, 1994. С. 103–114.
17. Тюпкин Ю.С. Модулирование слабой сейсмичности приливными деформациями перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2002. – № 3. С. 3–10.
- 18/ Тимофеев В.Ю., Запиреева Е.А., Раумбеке М., Ардюков Д.Г., Приливная модуляция сейсмической активности Байкальской рифтовой зоны и Алтае-Саянского региона // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Вып. 1. – Иркутск: ИЗК СО РАН, ИГТУ, 2004. С. 181–189.
19. Салтыков В.А., Иванов В.В., Кугаенко Ю.А. Воздействие земных приливов на сейсмичность перед землетрясением 13 ноября 1993 года Mw = 7.0 (Камчатка) // Физика Земли. 2004., № 7. С. 25–43.
20. Тюпкин Ю.С. Модулирование слабой сейсмичности приливными деформациями перед сильными землетрясениями // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 3. – С. 3–10.
20. Салтыков В.А., Иванов В.В., Бугаенко Ю.А. Воздействие земных приливов на сейсмичность перед землетрясением 13 ноября 1993 года Mw = 7.0 (Камчатка) // Физика Земли. – 2004. – № 7. –С. 25–43.
21. Broyden C.G. The Convergence of Class of Double-Rank Minimization. Algorithms //Journal nst, Math, Applic1970,vol 6,PP.76-90 .
22. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре, геофизические и тектонические аспекты. Москва, Наука, 2015, с 130-261.
23. Мельхиор П. Земные приливы. М: Мир, 1968. 482 с.

УДК 556.3+550.34

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г. Ташкент

ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Yusupov Sh.S., Shin L.Yu.

O'zR FA Seismologiya instituti, Toshkent sh., O'zbekiston Respublikasi

ZILZILALARNING GIDROGEOSEYSMOLOGIK DARAKCHILARI

Annotatsiya. O'zbekistonning Toshkent geodinamik poligonidagi ko'p yillik gidrogeoseysmologik (GGS) tadqiqot natijalari taqdim etilgan. Toshkent geodinamik poligonida kuchli zilzilalarning tayyorlanish davrida GGS parametrlari bo'yicha bir qancha ijobiy natijalar olingan. Zilzilaoldi GGS anomalialarning namoyon bo'lish sabablarini tushuntirishga harakat qilingan. Yer osti suvlaridagi kimyoviy, gaz va boshqa gidrogeofizik parametrlardagi anomal o'zgarishlar tahlil qilinib, kelib chiqish sabablariga baho berilgan.

Kalitli so'zlar: gidrogeoseysmologiya, magnituda, darakchi, poligon, mikrokomponentlar, gidrogeokimyo.

Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова, Ташкент

ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Аннотация. Представлены результаты многолетних гидрогеосейсмологических (ГГС) исследований для прогноза сейсмической опасности на Ташкентском геодинамическом полигоне. Получены некоторые положительные результаты ГГС параметров во время подготовки сильных землетрясений на Ташкентском геодинамическом полигоне. Сделана попытка объяснения причин ГГС аномалий перед свершением Туябугузского (25.05.2013, M=5.6, R=70км) и Маржанбулакского (26.05.2013, M=6.2, R=200км) землетрясений. Анализированы и оценены причины аномальных проявлений газо-химических и гидрогеофизических параметров подземных вод.

Ключевые слова: гидрогеосейсмология, магнитуда, предвестник, полигон, микрокомпоненты, макрокомпоненты, гидрогеохимия.

Yusupov Sh.S., Shin L.Yu.

Institute of Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent.

HYDROGEOSEISMOLOGICAL EARTHQUAKE PRECURSOR

Annotation. The results of long-term hydrogeoseismological (HGS) studies for predicting seismic hazard at the Tashkent geodynamic test site are presented. Some positive results of the HGS parameters were obtained during the preparation of strong earthquakes at the Tashkent geodynamic test site. An attempt has been made to explain the causes of the GHS anomaly before earthquakes. The reasons for the abnormal manifestation of the HGS of the parameters of gas-chemical and hydrogeophysical parameters of groundwater are analyzed and evaluated.

Key words: hydrogeoseismology, magnitude, precursor, poligon, microcomponents, macrocomponents, hydrogeochemistry.

Введение. Аномальные изменения газо-химического, изотопного и гидрогеофизического состава подземных вод перед сильными землетрясениями, называются гидрогеосейсмологическими предвестниками (далее ГГСП). Полагается, что ГГСП могут использоваться для решения задач прогнозирования землетрясений, в первую очередь, для оценки времени и места сильных землетрясений.

ГГСП являются одной из составляющих более общего понятия «геохимические предвестники», объединяющего совокупность аномальных изменений химического, газового состава и др. подземной гидросферы в процессе подготовки землетрясений. Кроме этого, ГГСП относятся к классу гидрогеологических предвестников землетрясений, отражающих изменения физико-химических параметров подземных вод вследствие процессов подготовки землетрясений. Для обнаружения ГГСП проводятся режимные наблюдения на самоизливающихся скважинах и источниках за показателями макро-, и микрокомпонентного состава подземной воды и газов. Газы, содержащиеся в подземных водах, могут находиться в растворенном и в свободном состоянии. Такие особенности ГГСП, как объекта научного исследования, предполагают их изучение на основе комплекса наук о подземной гидросфере (гидрогеологии, гидрогеодинамики,

гидрогеохимии), наук химического направления, главным образом, аналитической химии, и с привлечением сейсмологии, региональной геологии, тектоники, геодинамики и др.

Традиционным методом гидрогеохимических наблюдений является отбор проб воды и газа на самоизливающихся скважинах и источниках с последующим выполнением химического анализа состава воды и газа в лабораторных условиях. Периодичность гидрогеохимических наблюдений, обычно, составляет от одних до нескольких суток. В результате таких трудоемких мероприятий формируются временные ряды различных гидрогеохимических показателей, которые анализируются в сопоставлении с сильными землетрясениями ($M \geq 4.5$). Определенные трудности в выделении ГГСП связаны с влиянием различных природных и техногенных факторов на режим водопроявлений, с условиями пробоотбора, особенностями химического анализа отдельных компонентов состава подземных вод и газа, а также с возможным наложением эффектов динамического воздействия деформационных волн на ГГСП, и др.

Таким образом, задача изучения процессов образования ГГСП и закономерностей их проявления в целях использования для прогноза времени и места сильных землетрясений является комплексной и сложной. В основе ее решения лежат достоверные данные о проявлениях ГГСП в режиме подземных вод сейсмоактивных регионов, различающихся геолого-тектоническим строением, сейсмическими и гидрогеологическими условиями. По совокупности данных о ГГСП оценивается связь их проявления с параметрами будущих землетрясений и механизмы формирования в природных водоносных системах и в системах «скважина(родник) – водовмещающая порода».

Изучение ГГСП в изменениях газо-химического состава подземных вод в Узбекистане проводятся более 60-ти лет и являются пионерскими в мире, начиная с работы Г.А.Мавлянова, А.Н.Султанходжаева, В.И.Уломова и др. которое привело к научному открытию №129 (1973 г.). Определяющий вклад в изучение ГГСП в Узбекистане внесли сотрудники Института сейсмологии академик А.Н.Султанходжаев, д.г.-м.н. Г.Ю.Азизов, к.г.-м.н. Ф.Г.Зиган, к.г.-м.н. С.У.Латипов, к.г.-м.н. Л.А.Хасанова, к.г.-м.н. И.Г.Чернов, к.г.-м.н. Т.Закиров и др. В настоящее время изучение ГГСП проводится под руководством д.г.-м.н. Ш.С.Юсупова, с использованием данных гидрогеохимических наблюдений в сети прогностических станций сейсмоактивных зон Узбекистана.

В настоящей работе представлены данные о ГГСП по результатам многолетних наблюдений на источнике Озодбаш Ташкентского геодинамического полигона [1,2]. Рассматриваются закономерности проявления ГГСП в связи с сильными землетрясениями и процессы их формирования на основе модели механического смешивания контрастных по химическому и газовому составу вод в зонах повышенной водопроницаемости [3-6] и физико-химического анализа взаимодействия в системе «вода – порода» [7, 8].

Данные результатов наблюдений на источнике Озодбаш (координаты 41.54° с.ш., 69.63° в.д.) с августа 2010 по ноябрь 2013 года показаны на рисунке 1. Они соответствуют периоду двух сильных землетрясений: Туябугузского 25.05.2013 года с $M=5.6$, произошедшего на эпицентральной расстоянии $d_e=70$ км от источника Озодбаш [1], и Маржанбулакского землетрясения, произошедшего 26 мая 2013 г. с $M=6.2$, $d_e=200$ км [2]. В рис.1 видно, что на одну аномалию произошло два сильных землетрясения.

У этих землетрясений величина M/LgR имела значение больше 2.5 ($M=3.04$ и 2.7 соответственно, где M – магнитуда, R – эпицентральной расстояние землетрясений). Величина M/LgR , применяется в качестве параметра, характеризующего интенсивность процессов подготовки землетрясений с учетом удаленности соответствующих очагов от наблюдательного пункта [9]. Для Центральной Азии практика показывает, что землетрясения, имеющие значение (M/LgR) больше или равно 2.5, можно рассматривать как входящие в зону чувствительности данного наблюдательного пункта, проводящего гидрогеосейсмологические исследования [10].

Содержание ГГСП в подземных водах тесно связано с состоянием деформационных процессов в водовмещающих породах в период активного трещинообразования при подготовке землетрясений. Как видно, механизм образования аномалий скорее отражает сложность быстропротекающих тектонических процессов в земной коре непосредственно перед землетрясением, но не дает окончательного ответа о природе этих аномалий. Если аномалия появлялась перед землетрясением два раза [11], то рассматривалась только первая аномалия, как фиксирующая момент попадания пункта наблюдения в зону пространственно-временного влияния

(чувствительность) очага готовящегося землетрясения. По мнению авторов [12], если аномалия наблюдалась перед двумя землетрясениями с близкорасположенными очагами, и второе землетрясение, имевшее большую энергию, происходило через несколько часов после первого, то в качестве репера бралось первое землетрясение, как указывающее в некотором приближении на окончание заключительной стадии подготовки этих землетрясений. В нашем случае эпицентральные расстояния двух очагов (Туябугузский и Маржанбулакский) различные, т.е. 70 км и 200 км, и разность по времени свершения землетрясений составляет ~29 часов. Поэтому мы с уверенностью можем брать первое и близкое землетрясение, как основного виновника зафиксированных аномалий.

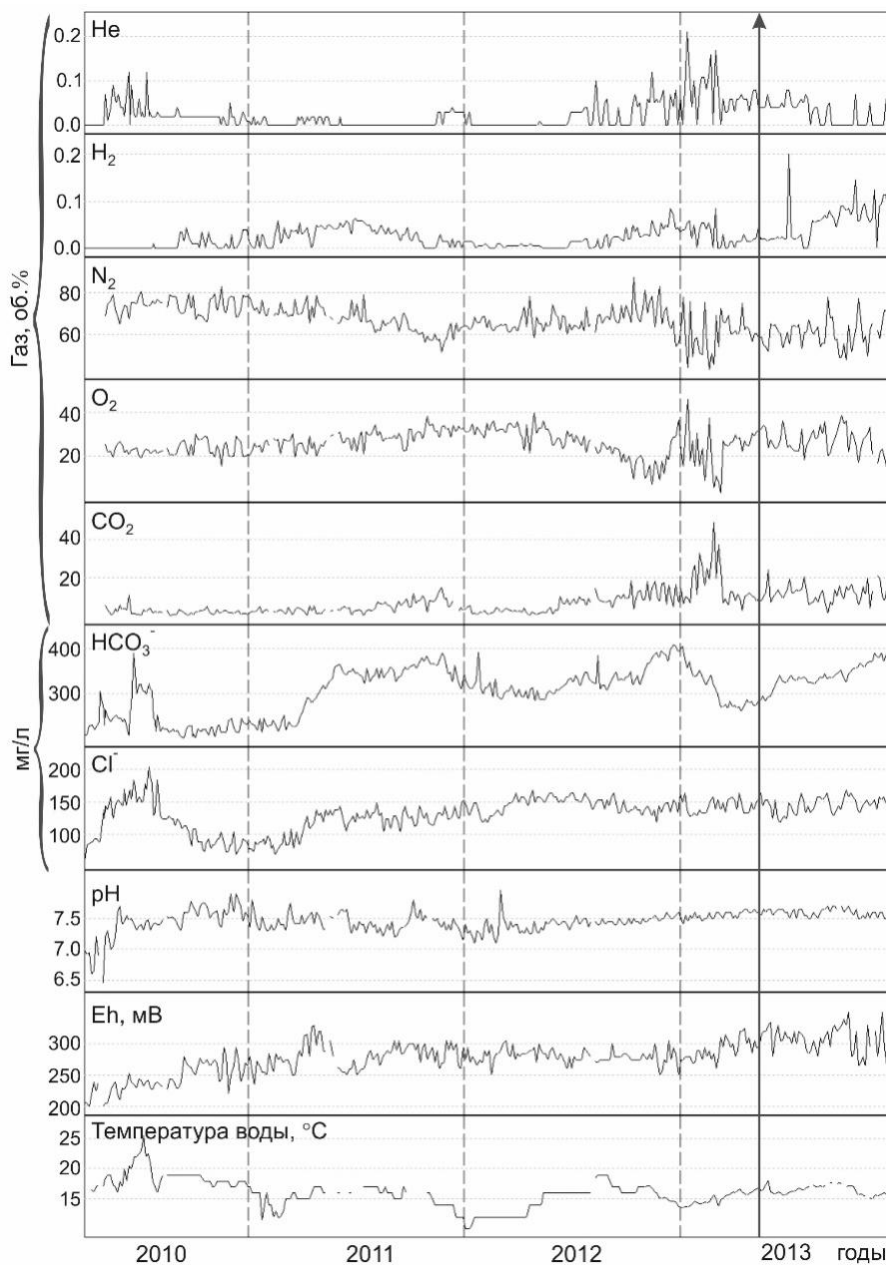


Рис. 1. Изменения ГГС параметров источника Озодбаш в 2010 – 2013 гг. в период землетрясений (показано вертикальной стрелкой).

Источник Озодбаш расположен на территории Приташкентского артезианского бассейна в пределах Каржантауской разломной зоны. Его разгрузка осуществляется за счет подземных вод из палеозойских отложений. Дебит источника 5 л/мин., температура воды – $17 \div 19^\circ\text{C}$, минерализация воды $0.7 \div 1,0$ г/л. Периодичность наблюдений составляла два раза в неделю.

Определение концентраций иона хлора и гидрокарбонат-иона в воде проводились традиционными методами. Состав газа определялся хроматографическим методом.

В изменениях гидрогеохимических параметров воды источника Озодбаш, главным образом, в газовом составе, были обнаружены яркие проявления ГГСП в течение примерно девяти месяцев перед землетрясением 25 мая 2013 г. Длительности аномалий по различным параметрам, выделенным по превышениям концентраций их фоновых величин за многолетний период, изменялись от 55 до 160 сут. при величинах экстремальных значений $150 \div 800\%$ [2]. В указанной работе отмечается, что аналогичные изменения параметров подземных вод прослеживались также в других наблюдательных скважинах, вскрывающих воды в верхнемеловых и четвертичных отложениях (скв. Чаткал, Минора и ДАН). В этих скважинах наблюдаются примерно такие же аномальные проявления ГГС параметров. Эти скважины расположены также на Каржантауской разломной зоне в радиусе 20-30 км.

Это показывает, что на стадии подготовки землетрясений в мае 2013 г. происходили изменения гидрогеохимического режима в пределах всей водоносной толщи Приташкентского артезианского бассейна.

Авторы [2] отмечают, что ГГСП в изменениях газового состава связаны с увеличением доли газов He , H_2 , CO_2 , поступающих из изолированных пор в водовмещающих породах при их деформации в процессе подготовки землетрясений. Кроме этого, увеличение поступления водорода в водоносную систему источника сопровождалось ростом водородного показателя pH от 7.1 до 7.6, нарушением карбонатного равновесия и изменениями окислительных процессов в подземной воде.

В [1] рассмотрены сейсмотектонические условия районов гидрогеохимических наблюдений на территории Ташкентского геодинамического полигона и возможная связь проявлений ГГСП перед землетрясениями 25 и 26 мая 2013 г. с разломно-блоковой структурой. При этом отмечалась слабая степень изученности этого вопроса.

Отметим, что приведенные данные о ГГСП перед землетрясениями 25 и 26 мая 2013 г. ($M = 5.6 - 6.2$, $d_e = 70-200$ км) в целом согласуются с зависимостью проявления ГГСП от соотношения величин магнитуды и эпицентрального расстояния землетрясений, полученной для Камчатских землетрясений (Россия) [13-15].

Процессы формирования ГГСП. Данные наблюдений ГГСП показывают, что на стадиях подготовки сильных землетрясений происходит перераспределение макрокомпонентного состава воды и газа. Это дает основание полагать, что ведущими процессами при формировании ГГСП являются: изменение условий смешивания различных по газо-химическому составу в зонах повышенной водопроницаемости и изменение физико-химического взаимодействия в системе «вода – порода» при деформации водовмещающей породы и развитии в ней трещинной дилатансии [4,5,6,8].

В работах [3,6], на примерах показано, что применение математической модели смешивания двух контрастных по минерализации вод в зоне повышенной водопроницаемости позволяет описывать не только эффекты воздействия сейсмических волн в изменениях дебита и концентраций макрокомпонентов в составе подземной воды, но и последовательное проявление ГГСП и постсейсмических изменений в составе растворенных минеральных компонентов. При этом модель водоносной системы принималась в виде среды с двойной пористостью, в которой основной поток воды перемещается по взаимосвязанным трещинам. Трещины разделяют слабопроницаемые блоки, в пустотах которых содержится вода с повышенной минерализацией и другим составом макрокомпонентов.

Выводы. С использованием моделирования изменений макрокомпонентного состава воды в скважинах были оценены составы смешивающихся вод на стадии подготовки землетрясения и тенденции в изменении химсостава подземной воды при воздействии напряжения на горную породу. В результате сейсмических сотрясений в смешанной воде происходило относительно кратковременное увеличение доли воды из “трещин”. При этом наблюдалось относительное (по сравнению с модельным поведением макрокомпонентов при проявлении ГГСП) изменение концентрации гидрокарбонат-иона, хлора и др..

Приведенные результаты, а также разнообразие технических условий и гидрогеологических обстановок формирования химического состава подземных вод в сейсмоактивных регионах требуют совершенствования метода гидрогеохимических наблюдений, направленных на поиск

ГГСП. Для этого необходимо внедрять в практику сейсмопрогностических работ автоматизированные системы регистрации концентраций отдельных компонентов и интегральных показателей химического состава воды, таких как температура, давление, дебит расхода воды, электропроводность, pH, Eh, с периодичностью не реже одного измерения в час.

Конечно, этого достичь очень трудно, но со временем большинство параметров перейдет на автоматический режим измерения. Кроме того, для изучения механизма или природы аномальных вариаций необходимо проводить изотопные исследования ряда элементов в подземных водах (He, H₂, O₂, N₂, CO₂, Ar, SO₂ и др.). Выяснить генетическую принадлежность проявленных аномальных вариаций этих элементов во время подготовки и свершения сильных землетрясений.

Литература

1. Нурматов У.А., Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю., Юсупджанова У.А. Связь особенностей проявления гидрогеосейсмологических предвестников землетрясений с сеймотектонической обстановкой. Геология и минеральные ресурсы. 2016. № 2. С. 38-43.
2. Юсупов Ш.С., Нурматов У.А., Шин Л.Ю. и др. Аномальные вариации гидрогеосейсмологических параметров в период возникновения Туябугузского и Маржанбулакского землетрясений 25 и 26 мая 2013г. Докл АН РУз: 2014. №6. С. 38-40.
3. Копылова Г.Н., Воропаев П.В. Процессы формирования постсейсмических аномалий химического состава термоминеральных вод. Вулканология и сейсмология. 2006. №5. С. 42-48.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Аномальные изменения химического состава подземных вод в связи с Камчатским землетрясением 02.03.1992 г. ($M_w=6.9$). Геофизические исследования. 2012. Т.13. №1. С.39-49.
5. Kopylova G., Boldina S. Anomalies in Groundwater Composition Caused by Earthquakes: Examples and Modeling Issues E3S Web of Conferences 98, 01029 (2019), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199801029> WRI-16.
6. Wang R., Woith H., Milkereit C., Zschau J. Modelins of hydrogeochemical anomalies induced by distant eaihtquakes. Geophys. J. Int. 2004. V. 157. P. 717-726.
7. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 368 с.
8. Копылова Г.Н., Гусева Н.В, Копылова Ю.Г., Болдина С.В. Химический состав подземных вод режимных водопроявлений Петропавловского геодинамического полигона, Камчатка: типизация и эффекты сильных землетрясений. Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 43-62. DOI:10. 1134/S0203030618040041.
9. Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н. Среднесрочные предвестники сильных ($M \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987-2007гг.: ретроспективная оценка их информативности для прогноза. Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 3-12.
10. Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. Зона чувствительности гидрогеосейсмологического предвестника землетрясения (углекислый газ). Геология и минеральные ресурсы. №6, Ташкент, 2016. С. 53-56.
11. Руденко О.П., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед камчатским землетрясением 13.11.1993 г., $M = 7.0$. Докл. РАН. Т.348. №6. 1996. С. 814-816.
12. Kondo G. The variation of the atmospheric electric field at the time of earthquake. Kakioka Magnet. Observ. Mem. 1968. V.13. N1. PP. 11-23.
13. Копылова Г.Н., Суғробов В.М., Хаткевич Ю.М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений. Вулканология и сейсмология. 1994. №2. С. 53-37.
14. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: 1977 – 2017 гг. Вулканология и сейсмология. 2019. № 2. С. 3-20.
15. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 96-112.

SEYSMOTEKTONIKA VA GEODINAMIKA

УДК 551.14:550.83;551.24:550.83

Асланов Б.С., Худузаде А.И.

*Азербайджан, Баку; SOCAR, НИПИнефтегаз и ПО "Азнефть";
E-mail: beyler@inbox.ru; a.xuduzade@gmail.com*

СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ И ЗАГРОССКОГО НАДВИГА В ПУТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГО- ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Aslanov B.S., Xuduzade A.I.

Ozarbayjon, Boku; SOCAR, NIPIneftegaz va Azneft;

SEYSMOLOGIK VA GEOLOGIK-GEOFIZIK M'ALUMOTLAR ASOSIDA JANUBI-KASPIY PROVINSIYASI HAMDA ZAGROSK SURILMASINING GEOLOGIK EVOLYUTSIYA DAVOMIDAGI SEYSMO-GEODINAMIK TUB O'ZGARISHLARI

Аннотасија. Zagros surilmalar tizimi (ZSS) va Absheron-Pribalhon (APZ) ko'tarilishlari etakchi bukilichlarga mos ravishda Mesopotamiya va Pirallaxi-Kelkor qo'yiladi. ZNS va APZ neft va gazning eng boy mintaqalaridir. Bu tasodifmi, yoki mintaqaning umumiy geologik evolyutsiyasi bilan bog'liqmi? Ushbu kolar tabiati qanday? Yoki qayerdan paydo bo'ldi, qachon, qayerda va qanday qilib u samarali qatlamlarga aylandi? Maqolarda mavjud bo'lgan geologik va geofizik materiallar va seysmologiya ma'lumotlarini har tomonlama tahlil qilish asosida shunga o'xshash savollarga javob topishga harakat qilinadi.

Tayanch so'zlar. Absheron-Pribalxonning ko'tarilish zonasi, Mesopotamiya va Pirallahi-Kelkor po'latlari, poydevori, neft va gaz viloyatlari.

Асланов Б.С., Худузаде А.И.

Азербайджан, Баку; SOCAR, НИПИнефтегаз и ПО "Азнефть";

СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ И ЗАГРОССКОГО НАДВИГА В ПУТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Аннотация. Загросская надвиговая система (ЗНС) и Абшероно-Прибалханская зона (АПЗ) поднятий наложены на передовые прогибы: соответственно Месопотамский и Пираллахи-Келькорский. ЗНС и АПЗ являются богатейшими нефтегазоносными регионами. Подобное совпадение случайное или связано с геологической эволюцией региона в целом? Какова природа этих месторождений? Где возникла нефть, когда, откуда и каким образом она переместилась в продуктивные слои? В статье сделана попытка найти ответы на подобные вопросы на основе комплексного анализа существующего геолого-геофизического материала и данным сейсмологии.

Ключевые слова. Абшероно-Прибалханская зона поднятий, Месопотамский и Пираллахи-Келькорский прогибы, фундамент, нефтегазоносные провинции.

Aslanov B.S., Huduzade A.I.

Azerbaijan, Tank; SOCAR, NIPINEFTEGAZ and ON "Aznefti"

SEISMO-GEODYNAMIC TRANSFORMATIONS OF THE SOUTH-CASPIAN PROVINCE AND ZAGROSKIY NADVIG IN THE WAY OF GEOLOGICAL EVOLUTION BASED ON SEISMOLOGICAL AND GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL DATA

Abstract. The Zagros Thrust system (ZTS) and the Absheron-Pribalkhan uplift zone (APZ) are superimposed on the foredeeps: Mesopotamian and Pirallahi-Kelkor, respectively. ZTS and APZ are the richest oil and gas regions. Is this coincidence coincidental or related to the geological evolution of the region as a whole? What is the nature of these deposits? Where did the oil originate, when, where, and how did it move to the productive layers? The article attempts to find answers to similar questions based on a comprehensive analysis of existing geological and geophysical material and seismology data.

Keywords: Absheron-Balkhan zone of uplifts, Mesopotamian and Pirallahi-Kelkorsky deflections, foundation, oil and gas provinces.

Введение. Распространение гигантских углеводородных (УВ) месторождений на Земле отмечается преимущественно в зонах сочленения крупных тектонических элементов. Подобными регионами являются бассейны Персидского залива, Аляски, Венесуэлы, Южно-Каспийской провинции и др. С позиции теории глобальной тектоники, образование нефти

происходит в результате возгонки и термализации веществ, затаенных вместе с океаническими осадками в зону поддвига литосферных плит. Эта идея была высказана впервые в 1970 году и в дальнейшем этот возможный механизм образования нефти изучался многими исследователями (Х.Хедберг, 1970; А.В.Бахрами, 1987; А.А.Абидов, 1988; Л.И.Лобковский, В.Е.Хаин, 2007). Исследуемый регион расположен между крупными Евразийским и Аравийским литосферными плитами и приурочен к сейсмоактивной зоне. Зона относится к кавказскому сегменту Альпийско-Гималайского подвижного пояса (АГПП) и характеризуется резкой контрастностью и интенсивностью магматических процессов, необычайно высокой тектонической и геодинамической активностью и подвижностью, большой сетью разнонаправленных разломов, являющихся возможными путями миграции полезных ископаемых, в том числе и углеводородов. Тектоно-геодинамические особенности этой зоны довольно подробно освещены в работе [1÷4], поэтому в данной статье вкратце следует отметить следующее.

В настоящее время в качестве основы интерпретации геологического строения, прогноза и поисков нефти и газа многие исследователи (А.А.Абидов, А.В.Балли, В.П.Гаврилов, М.Е.Герасимов, Г.Ж.Жолтаев, В.А.Игнатова, С.Клутин, Е.В.Кучерук, Л.И.Лобковский, К.О.Соборнов, Б.А.Соколов, А.Перродон, Г.Ульмишек, В.Е.Хаин, М.Хелбути и др.) пытаются использовать новую теоретическую парадигму – геодинамику.

Исследуемый в данной статье регион приурочен к активной сейсмогеодинамической зоне, которая и в современной эпохе считается также сейсмоактивной (рис.1 и 2). Она расположена между крупными Евразийским и Аравийским литосферными плитами и относится к мобильной зоне Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского пояса. Здесь характерны большая контрастность и интенсивность магматических процессов (в том числе грязевулканизм), необычайно высокая тектоническая и геодинамическая активность и подвижность, большая сеть разнонаправленных разломов, являющихся возможными путями эмиграции продуктов углеводородов из глубинных недр Земли.

Основные геодинамические движения тектонических элементов исследуемого региона в мезозойской истории развития установлены все главные этапы её формирования в условиях взаимостречных перемещений Евроазиатской и Афроаравийской континентальных плит, в ходе которых происходило возникновение структуры сжатия и растяжения с активно субдукционным и рифтогенным магматизмом и постепенное сокращение акватории палеокеана Тетис до полного его замыкания. Основываясь на общих закономерностях тектонической и магматической эволюции установлено, что в этом регионе в Мезотетисе существовали условия пассивной континентальной окраины (ПКО), которая является благополучным условием для образования и формирования крупнейших залежей углеводородов. Приуроченность большинства запасов углеводородов к пассивным окраинам континентов – закономерность, которая также неоднократно отмечалась геологами А.И.Конюховым, Л.Э.Левиным, В.Е.Хаиным, Б.А.Соколовым, Р.Г.Гарецким, С.А.Ушаковым и др. По их данным, с пассивными окраинами континентов (пассивные окраины континентов, в которых шельф подстилается континентальной корой) связано 7/8 всех выявленных запасов нефти и газа; только 1/8 этих запасов приходится на долю активных континентальных окраин (активная континентальная окраина возникает там, где под континент погружается океаническая кора).

Сегмент Альпийско-Гималайского пояса Центральный Иран, Загрос, Макран и Южный Каспий – расположен к востоку от северного выступа Аравийской плиты. Вероятным продолжением северной ветви Неотетиса, следовавшей от зоны Вардара через Северную Анатолию и центральный Малый Кавказ, является сутура по южному ограничению складчатой системы Эльборса, а к югу от последней в ретроспективе располагался Центрально-Иранский микроконтинент.

Он характерен позднедокембрийским метаморфическим фундаментом и венд-триасовым платформенным чехлом. Метаморфический фундамент датируется 1100-600 млн. лет и включает и район южного Закавказья, а на востоке его основная часть ограничивается Больше-Кевирским разломом северо-восточного направления.

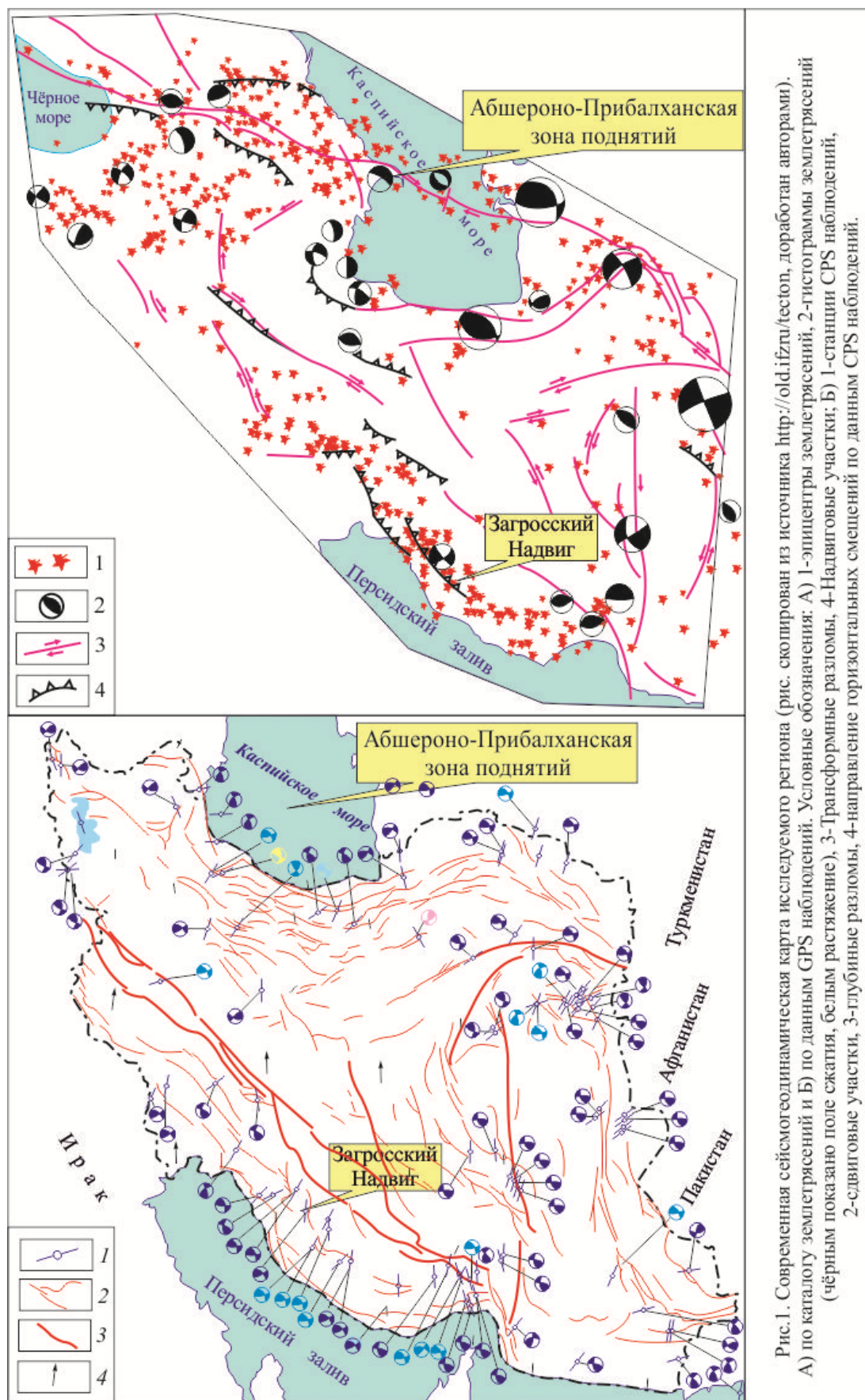
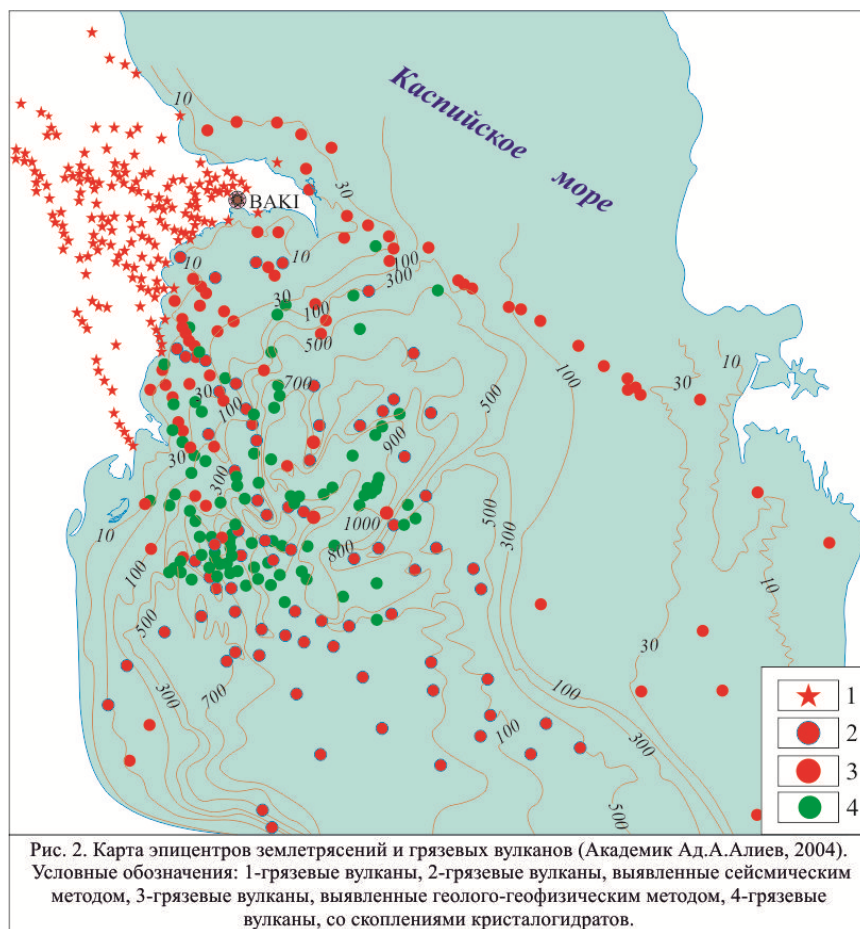


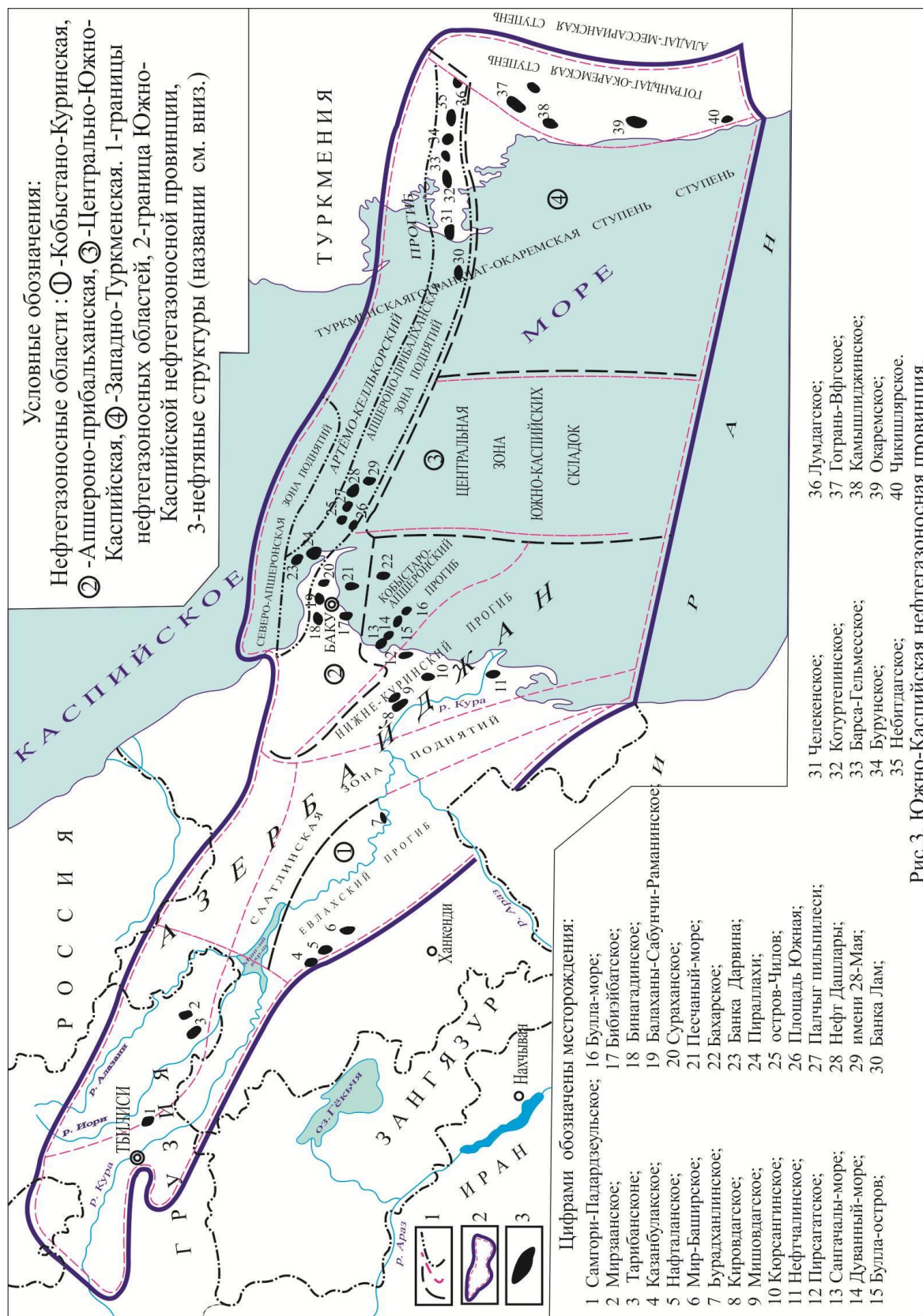
Рис. 1. Современная сейсмогеодинамическая карта исследуемого региона (рис. скопирован из источника <http://old.ifz.ru/tecton>, доработан авторами). А) по каталогу землетрясений и Б) по данным GPS наблюдений. Условные обозначения: А) 1-эпицентры землетрясений, 2-гистограммы землетрясений (чёрным показано поле сжатия, белым растяжение), 3- Трансформные разломы, 4-Надвиговые участки; Б) 1-станции GPS наблюдений, 2-сдвиговые участки, 3-глубинные разломы, 4-направление горизонтальных смещений по данным GPS наблюдений.



Ещё восточнее зона развития верхнемелового офиолитового меланжа отделяет меридионально вытянутый Лутский блок, который ограничен расширяющейся к югу зоной развития верхнемеловых-нижнеэоценовых офиолитов и сопровождающего их флиша. Образование пояса связывается с коллизией Аравийской и Центрально-Иранской плит.

Южно-Каспийская нефтегазоносная провинция расположена в пределах Азербайджана, восточной части Грузии и западной части Туркмении (рис.3). Площадь свыше 200 тыс. км² включает Габырры-Аджиноурскую, Евлах-Агджебединскую, Гобустан-Абшеронскую, Нижнекуруинскую, собственно Южно-Каспийскую нефтегазоносные области и Западно-Туркменскую газонефтеносную области. Наиболее известны месторождения: Самгори-Патардзеульское, Нафталанское, Мурадханлинское, Кюровдагское, Нефтечалинское, Биби-Эйбатское, Бинагадинское, Нефтяные Камни, Шах-дениз, Азери, Чыраг, Умид, Котуртепинское, Небит-Дагское, Гограньдагское, Окаремское и др. Первые нефтяные месторождения (Балаханы-Сабунчи-Романы, Челекенское) открыты и разрабатывались кустарно со середины XIX века. Планомерные поисковые работы на нефть и газ стали проводиться с 20-х гг. XX века. В тектоническом отношении Южно-Каспийская область регионального прогиба, будучи сопряженной с главнейшими геоструктурными элементами Б.Кавказа, Копетдага и Эльборса с похожими геодинамическими режимами, разбита на ряд депрессионных структур, отличающихся по геологическому строению и истории развития межгорных впадин и прогибов.

Последние представлены на западе Куринской межгорной впадиной, состоящей из Верхне-, Средне- и Нижнекуруинского прогибов, впадиной Южного Каспия, в которую входят Южно-Апшеронский, Пехлеви-Горганский, Приэльборский прогибы, а на востоке – Западно-Туркменским, Прибалхано-Кызылкумским и Огурчино-Чикишлярским прогибами. С севера к данной системе прогибов примыкают другие составные части мегавпадины – Шемаха-Гобустанский и Апшеронский прогибы.



Северным и северо-восточным ограничением мегавпадины служат мегантиклинорий Большого Кавказа и его подводное продолжение, представленное Апшероно-Прибалханской зоной антиклинальных поднятий, а южным – мегантиклинорий Малого Кавказа. На востоке мегавпадина упирается в Дзирюльский выступ кристаллического фундамента. Кристаллическое основание Южно-Каспийской мегавпадины в ее различных частях имеет тенденцию к ступенчатому погружению. В западной части оно залегает на глубине 4-6 км, в Среднекуринском прогибе – 16 км, в Нижнекуринском погружается до 20 км, а в Южно-Каспийской впадине опускается более чем 25 км. Ступенчатое погружение доальпийского субстрата происходит и в поперечном направлении от Большого и Малого Кавказа к центральной части впадины. Границами между частными прогибами служат погребенные поднятия доальпийского фундамента и ограничивающие их глубинные разломы.

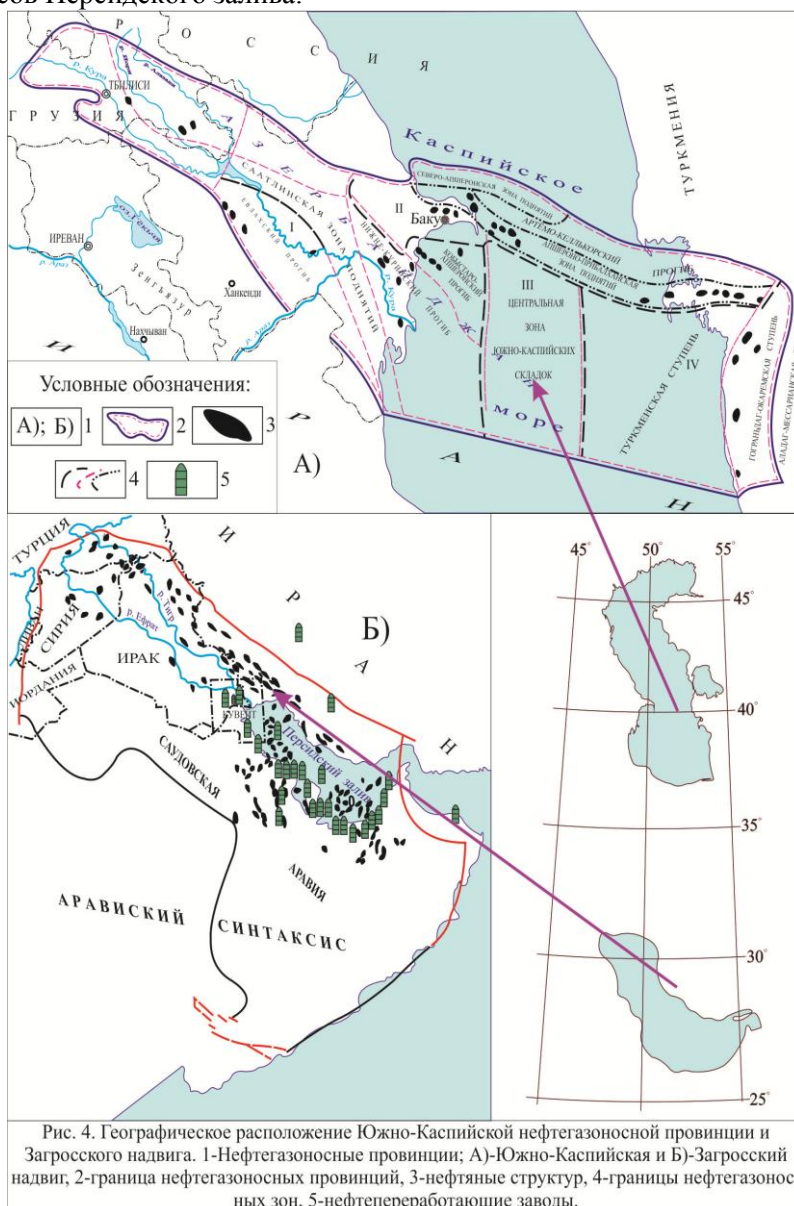
Основным нефтеносным комплексом Южно-Каспийской нефте-газодонной провинции, содержащим почти все разведанные запасы нефти и газа, является Продуктивная Толща (ПТ) плиоцена и её аналог - Красноцветная Толща (КТ) в Западной Туркмении.

ПТ представлена чередованием песчаных коллекторов и глинистых покровов общей мощностью от 1,2 до 4 км, КТ – монотонным чередованием песчано-алевритовых и глинистых пород мощностью 0,8-3,0 км. В западной части провинции на погружении Малого Кавказа (Гянджинский нефтегазодонный район) и в восточной Грузии ПТ отсутствует, залежи углеводородов обнаружены в отложениях майкопской серии олигоцена-нижнего миоцена и в породах верхнего мела. Основные районы добычи нефти и газа приурочены к Апшероно-Прибалханской нефтегазодонной области Азербайджана и к Западной Туркмении. Коллекторы ПТ на месторождениях Апшеронского полуострова представлены хорошо отсортированными кварцевыми песками с высокими значениями пористости и проницаемости. В разрезе выделяется до 40 нефтегазодонных объектов. Залежи пластовые, сводовые, тектонически и литологически экранированные, реже литологически ограниченные. Месторождения приурочены к брахиантиклиналям, интенсивно разорванным многочисленными нарушениями различной амплитуды, осложнённым грязевым вулканизмом. Нефти нефтено-метанового состава с плотностью 850-910 кг/м³, содержанием S 0,4%, парафина до 18%. В составе газового конденсата преобладают лёгкие углеводороды, количество парафина, смол, асфальтенов незначительно. Плотность конденсата 729-813 кг/м³. Свободные газы метановые с незначительным содержанием CO₂, N₂. По данным фондовых материалов, ограниченно опубликованных в интернетовских сайтах в разное время и разными авторами, нефтегазовые залежи Персидского залива характеризуются именно подобным составом [2,3].

Закрытие мезозойского океана Тетис приходится к началу кайнозойской эры, причем в ряде мест процессы субдукции продолжаются до настоящего времени с различной степенью выраженности, например, в Южном Каспии (Апшероно-Прибалханская зона поднятий), на севере Персидского залива (Загросский Надвиг). Периферия палеоокеана Тетис регионально нефтегазодонна. Именно в её пределах находятся нефтегазодонные провинции Южного Каспия и Персидского залива. В.А.Левченко ошибочно классифицировал зоны Персидского залива, как внутриматериковую область опускания. На самом деле северо-восточная окраина Африкано-Аравийского континента в кайнозойское время испытала столкновение с Иранской плитой. Благодаря субдукционному геодинамическому режиму создались условия для ускоренной переработки рассеянной массы углеводородов, содержащейся в мощных осадочных толщах пассивной окраины, приведшие к новому циклу формирования богатых нефтью и газом месторождений современного Персидского залива (рис.4). Интенсивное прогибание этой территории земной коры – результат надвигания на край платформы островодужных систем юго-западной периферии океана Тетис. Наибольшие запасы углеводородов также концентрируются в тех толщах, которые существовали на окраинах материков в период закрытия океанов, прежде всего, это юрские и меловые отложения, а также палеозойские (пермские) в нефтегазодонных зонах Персидского залива, а в Южном Каспии плиоценовые отложения.

Обычно, когда говорят о "черном золоте", прежде всего, вспоминают о Персидском заливе, в районе которого размещаются извлекаемые запасы около 70 млрд. т. нефти и 20 трлн. м³ газа. Подсчеты показывают, что по модели органического нефтегазообразования

биогенные вещества нефтематеринских отложений (позднеюрских карбонатных горных пород) могли дать не более 7,5 млрд. т. нефти, что составляет менее 5 % от геологических нефтяных запасов Персидского залива.



Установленное же генетическое родство (образование за счет одного и того же источника) всех природных нефтей Саудовской Аравии, Ирака, Ирана, Катара, Кувейта, ЮКВ и отсутствие других нефтематеринских свит, отвечающих понятию единственного общего источника, свидетельствуют об абиогенной природе нефтяных запасов Персидского залива и прилегающих регионов, также Южный Каспий. Какова природа этих уникальных образований? Где возникла эта нефть, когда, откуда и каким образом она переместилась в нынешние резервуары? Ее плотность 966-1030 кг/м³, а температура застывания столь велика, что на глубинах до 600 м она либо твердая, либо напоминает по консистенции пластичную массу [4].

Западно-Туркменская впадина является восточной частью Южно-Каспийской области прогибания. Она выполнена громадными по мощности мезозойскими и кайнозойскими отложениями. Только мощность неогена в пределах Западно-Туркменской впадины достигает 5-6 км. Нефтяные и газовые залежи Западно-Туркменской впадины связаны с песчано-глинистой толщей плиоцена.

Закключение. Таким образом, анализируя вкратце на основе существующей геолого-геофизической информации, каталогов землетрясений, сравнительного анализа

углеводородного состава и процессов эволюции, геотектонического образования, структурно-тектонического строения, сейсмогеодинамических особенностей вышеописанных нефтегазоносных провинций, мы предполагаем, что углеводородный потенциал этих месторождений образовался в пассивной и континентальной окраине океана Тетис и можно сделать следующие выводы:

- Углеводородные потенциалы НБПЗ и ЮКНП связаны с рифтовой системой океана Тетис и образовались в ПКО. Пути миграции и генерации УВ в исследуемом регионе являются: – в Южно-Каспийской нефтегазоносной провинции Предкавказско-Туркменский разлом, а в пределах Персидского залива – глубинные разломы Загросской надвиговой системы.

- Нефтегазоносные провинции Персидского залива и Южного Каспия существовали как ПКО на протяжении большей части своей эволюции, т.е. с позднего палеозоя и до миоцена включительно, но на севере (Южный Каспий) ПКО был активнее, чем на юге (Персидский залив).

- После столкновения двух некогда противоположных окраин Тетиса, МПП и ПКП трансформировались в современные бассейны, типичные для зон сочленения древних кротонов со сравнительно молодыми горно-складчатыми сооружениями.

Литература

1. Запивалов Н. П. Морская нефть – новая веха человечества. Нефтяное хозяйство. 2008, июнь, № 6. с. 54–58.
2. Хаин В.Е., Соколов Б.А. Роль флюидодинамики в развитии нефтегазоносных бассейнов. История нефти в осадочных бассейнах / Под ред. Б.А.Соколова. М.: Изд-во МГУ, Интерпринт, 1994. 362 с.
3. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 501 с.
4. Варшавская И.Е., Волож Ю.А., Дмитриевский А.Н., Леонов Ю.Г., Милетенко Н.В., Федонкин М.А. Новая концепция развития ресурсной базы углеводородного сырья. Вестник РАН. 2012. Т.82. № 2. с. 99-109.

УДК 551.243+550.34

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

Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, Ташкент,
Республика Узбекистан, Olmaxon29@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗНОМАСШТАБНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

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

O‘zR FA G.O.Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti

TURLI MASSHTABDAGI TEKTONIK STRUKTURALARDA

ZILZILALARNING MAKONDA TAQSIMLANISH XUSUSIYATLARI

Annotatsiya. Maqolada zilzilalarni har-hil o‘lchamli tektonik strukturalarda taqsimlanish xususiyatlarini organish natijalari keltirilgan. Zilzilalarni vaqt va maydon uzra taqsimlanish hususiyatlari yagona seysmogen zona, bir blokning ikki tomonidagi seysmogen zonalar, hamda Markaziy Osiyoning yirik yer qobigi bloklari doirasida tahlil qilingan.

Kalit so‘zlar. Zilzila, seysmogen zona, yer qobig‘i, blok, tektonik struktura.

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

Институт сейсмологии им.Г.А.Мавлянова АН РУз

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЗНОМАСШТАБНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Аннотация. В статье приведены результаты изучения особенностей пространственно-временного распределения землетрясений в разномасштабных тектонических структурах. Рассмотрены особенности проявления землетрясений в масштабе одной сейсмогенной зоны, в сейсмогенных зонах приуроченных разным бортам единого блока, а также в масштабе более крупных блоков земной коры Центральной Азии.

Ключевые слова. Землетрясение, сейсмогенная зона, разломы, земная кора, тектоническая структура.

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

Institute of Seismology Academy of Sciences of Uzbekistan

FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF EARTHQUAKES IN TECTONIC STRUCTURES OF DIFFERENT SIZES

Annotation. The article presents the results of studying the features of the spatio-temporal distribution of earthquakes in different-scale tectonic structures. The features of the manifestation of earthquakes on the scale of one seismogenic zone, in seismogenic zones confined to different sides of a single block, as well as on the scale of larger blocks of the earth's crust of Central Asia are considered.

Keywords. Earthquake, seismogenic zone, faults, crust, tectonic structure

Введение. Землетрясения возникают в реальной геологической среде, которая имеет конкретные характерные размеры, формы, реологические свойства и определенное пространственное положение. Многофакторность процесса проявления сильных землетрясений требует тщательного изучения геологической обстановки глубинных структур и разрывов в которых они возникают. В настоящее время считается доказанной генетическая связь землетрясений с такими особенностями земной коры как области неустойчивого тектонического режима, перестройки структурного плана, зоны контрастных новейших тектонических движений и интенсивных современных вертикальных движений, зоны молодых и древних глубинных разломов, активизированных на современном этапе [1].

Известно, что в решении практических вопросов оценки сейсмической опасности степень достоверности результатов во многом зависит от правильности подхода к изучению особенностей пространственно-временного распределения землетрясений. Обычно при проведении таких исследований не всегда учитываются пространственные размеры изучаемых структур. Достаточно надежно установлена и признана пространственная приуроченность очагов землетрясений к зонам активных тектонических разломов земной коры. В этой связи при выделении основных сейсмогенных зон наряду с установленными геологическими критериями, определяющее место отводится изучению существующих разрывных нарушений, оценке степени их активизации как сейсмологических, так и инструментальными методами. В настоящее время на основе существующих активных разломов Узбекистана и установленных геологических критериев сейсмичности выделены основные сейсмогенные зоны Узбекистана и прилегающих территорий [2]. Дальнейшими детальными исследованиями установлено, что в протяженных сейсмогенных зонах сильные землетрясения происходят не сразу по всей длине, а попеременно в разных местах [1]. При этом каждое сильное землетрясение возникает по индивидуальной модели. Это свидетельствует о том, в большинстве случаев определяющую роль при возникновении землетрясений играет напряженно-деформированное состояние мобильных блоков земной коры и их масштабность. Индивидуальность сеймотектонических моделей очагов землетрясений, не идентичность и блоковое строения протяженных сейсмогенных зон по всей длине и их приуроченность к зонам активных разломов земной коры свидетельствует о том, что в настоящее время разные части единой сейсмогенной зоны находятся в разных напряженно-деформированных состояниях. Следовательно, степень подготовленности разных участков сейсмогенной зоны генерировать землетрясения не одинаковы. Для решения практических вопросов оценки сейсмической опасности особенно важно определить части сейсмогенной зоны, где вероятность очередной сейсмической активизации наибольшая. Специальные исследования, проведенные для изучения динамики сейсмического процесса в сейсмогенных зонах Узбекистана, показали, что закономерное перемещение очагов в том или ином направлении отмеченные в пределах отдельных сейсмогенных зон относятся только лишь к сильным землетрясениям. Когда к анализу подключаются слабые землетрясения, отмечается тенденция одновременной активизации сейсмичности по всей протяженности сейсмогенных зон [3].

Постановка задачи. Известно, что разломы земной коры, являющиеся пространственной основой сейсмогенных зон, являются местами разрядки напряжений накопленных в блоках земной коры. Результаты исследований тектонического районирования показывают, что размеры блоков (структур) земной коры изменяются в широких пределах – от нескольких миллиметров до тысячи и более километров и имеют иерархическую структуру [4].

Чем крупнее блок, тем протяжённое ограничивающий его разлом, следовательно, выше энергетический потенциал разломной зоны (сейсмогенной зоны). Чем подвижнее блок, тем

активнее граничащий его разлом, следовательно, активнее те сейсмогенные зоны которые приурочены к зонам этих разломов. В отличие от тектонических структур на практике ранжирование сейсмогенных зон производится не по пространственным признакам, а по энергетическому показателю, т.е. по уровню максимального возможного землетрясения (M_{max}), которого способно генерировать та или иная сейсмогенная зона. Порою протяженные сейсмогенные зоны, приуроченные к разным бортам единого блока или приуроченные к одному борту блока, по сеймотектоническому потенциалу относятся к разным категориям (уровням M_{max}). Причина этого кроется в иерархической структуре блоков земной коры. Каждый блок в зависимости от масштабного уровня и геодинамического состояния принимает участие в процессе подготовки и возникновении конкретного землетрясения. В зависимости от активности и масштабности геодинамических процессов, в одних случаях мы наблюдаем возникновение сильных землетрясений соответствующие структуре высшего ранга, а в других - землетрясения средних магнитуд, соответствующие более мелким структурам. С этой позиции логично предположить, что землетрясения, возникшие в сейсмогенных зонах, приуроченных к разным бортам единого блока должны быть взаимообусловлены. Исходя из этого, можно предположить, что в определенных циклах сейсмической активизации разные борта единого блока (соседние сейсмогенные зоны) должны работать в тандеме друг с другом или по переменно. Поскольку геодинамические блоки высших рангов, в зависимости от своего масштабного уровня, состоят из блоков меньшего размера, активизация сейсмичности внутриблочных сейсмогенных зон по уровню и по энергетическим показателям будет меньше чем в главных зонах. Внутриблочные землетрясения более наглядно проявляется в случаях, когда рассматривается сейсмичность более крупных тектонических единиц. Намного сложнее, когда рассматривается блоки меньшего размера, которые по размеру неспособны генерировать сильные землетрясения, а слабые землетрясения возникают везде как в сейсмогенных зонах, так и за ее пределами.

Цель исследований. На примере конкретных разномасштабных блоков земной коры изучить взаимообусловленность землетрясений во времени и в пространстве. Для достижения цели в первом случае в качестве пространственной основы был принят блок земной коры расположенный между региональным Бесапано-Южно-Фергским разломом и системой Северо-Кульджуктау-Туркестанской разломов. Южно-Ферганская сейсмогенная зона, являющаяся северным бортом рассматриваемого блока по сеймотектоническому потенциалу выше, чем Северо-Кульджуктау-Туркестанская являющаяся южным бортом. Это естественно, поскольку зона Бесапано-Южно-Ферганского разлома одновременно является границей более крупного тектонического блока – Южно-Тянь-Шанского и сейсмический потенциал его, в соответствии со своим размером, больше чем у зоны южного борта. Система Северо-Кульджуктау-Туркестанского разлома в масштабе Южно-Тянь-Шанского блока относится к категории внутриблочных структур, следовательно, сейсмический потенциал зоны ниже, чем граничной.

Для анализа в качестве источника сейсмической информации за период с древнейших времен по 1974 г. были использованы данные из каталога землетрясений [5]. За период 1975-2013 г.г. был использован электронный каталог землетрясений Центральной Азии, составленный в рамках Международного проекта КАСРИ [6]. Анализу подвергались в основном сильные землетрясения с $M \geq 5.0$.

Обсуждение результатов. На рис.1 приведено пространственно-временное распределение сильных землетрясений в пределах изучаемых разломных зон. За анализируемый период в пределах двух бортов исследуемого блока наблюдались восемь периодов сейсмической активизации. В анализе за период сейсмической активизации было принято время, в течение которой оба борта блока проявят себя сейсмическими событиями. Полученные результаты показали, что за весь период наблюдений отмечен 8 периодов сейсмической активизации. Характерное время активизации в 6 случаях из 8 равняется 2-4 годам. В двух случаях наблюдалось более длительное время активизации. В первом случае оно равнялась 12, а во втором - 14 годам. Однако следует отметить, что первый из этих периодов относится к историческим событиям (1881-1892), а второй связан с землетрясениями относительно умеренной силы ($4.5 \leq M \leq 5.0$). Промежуток времени относительного сейсмического затишья между периодами изменяется в пределах от 2-3 до 30-35 лет. Эти результаты показывают, что нет единого источника, вызывающего сейсмическую активизацию. Первый период активизации началась возникновением в 1883 г. сильного землетрясения ($M=5.5$) на восточной части

северного борта блока, т.е в зоне Бесапано-Южно-Ферганского разлома (рис.1). Следующие землетрясения возникли в 1888 г. в центральной и в 1892 г. в западной части того же разлома. В этот период был активным только северный борт блока. Второй период активизации начался возникновением в 1895 г. землетрясения с $M = 6.0$. на восточной части южного борта блока, т.е. с зоны Северо-Кульджуктау-Туркестанского разлома.

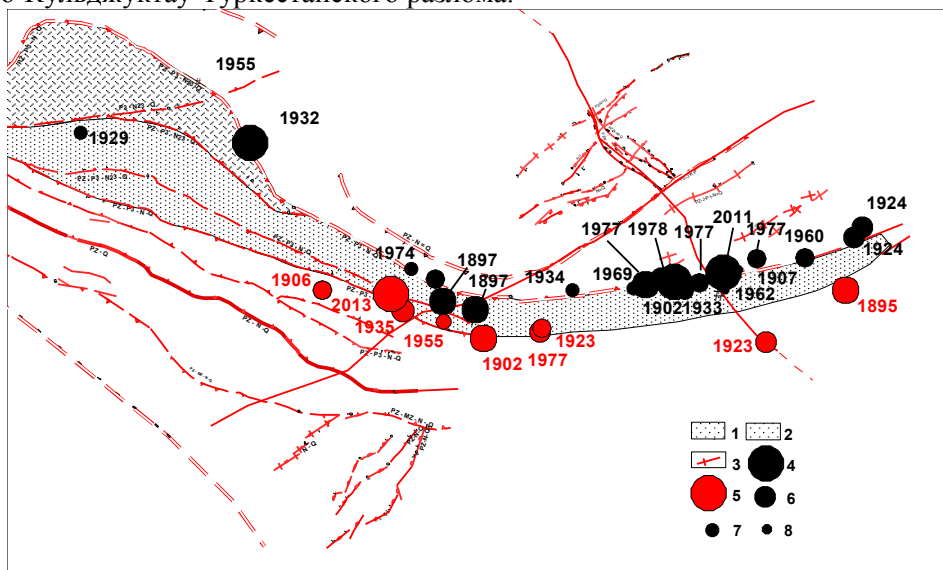


Рис.1. Пространственно-временное распределение сильных землетрясений в зонах Бесапано-Южно-Ферганского и Северо-Кульджуктау-Туркестанского разломов. 1-2 - условные границы блоков; 3 - разломы земной коры; эпицентры землетрясений: 4 - $M \geq 6.0$ (северный борт); 5 - $M \geq 6.0$ (южный борт); 6 - $M \geq 5.5$; 7 - $M \geq 5.0$; 8 - $M \leq 4.9$.

Последующие два землетрясения с $M > 6.6$ и 6.7 произошли в центральной части Бесапано-Южно-Ферганского разлома в 1897 г. Третий период активизации охватывает 1902-1903 г.г. Первое землетрясение возникло в 1902 г. на восточной части Бесапано-Южно-Ферганского разлома, а второе на западной части Северо-Кульджуктау-Туркестанского разлома. Следующий активный период начался в 1923 г. возникновением землетрясения с $M=5.6$ в центральной части Северо-Кульджуктау-Туркестанского разлома. Землетрясение с $M=6.4$ возникло в западной части данного разлома. Через год землетрясения возникли на северном борту блока в зоне Бесапано-Южно-Ферганского разлома. Аналогичное чередование активизации то на северном, то на южном борту изучаемого блока наблюдались в 50-тые, 60-тые и 70-тые годы. Во всех случаях в едином акте сейсмической активизации в обоих бортах блока происходили землетрясения средних магнитуд ($4.0 \leq M \leq 5.0$). Последняя активизация блока наблюдалась в 2011-2013 годах. В 2011 году в центральной части северного борта блока в зоне Бесапано-Южно-Ферганского разлома возникло Каннское землетрясение с $M=6.3$, а через два года, в 2013 г. на западной части южного борта в зоне Северо-Кульджуктау-Туркестанского разлома возникло Маржанбулакское землетрясение с $M=6.2$. Характерным является то, что активизация блока, начатая в 2011 г. возникновением Каннского землетрясения в центральной части блока распространилась до его западного окончания. В 2014-2015 г.г. наблюдалась значимая активизация Учкудукской части блока. Длительное сейсмическое затишье этого участка блока прервалось возникновением серии землетрясений с $M \leq 4.5$. Хотя по энергетическому уровню эти землетрясения существенно уступают другим участкам блока, тем не менее, сейсмогенные зоны этой части блока реализовали свой сейсмический потенциал.

Рассмотрим теперь, особенности проявления землетрясений в масштабе более крупных тектонических структур. На рис.2 и 3 приведены схема литосферных блоков выделенная на основе сравнительного анализа карты разломов региона [7] и эпицентры происшедших сильных землетрясений (с $M \geq 6.0$) [5,6]. Как видно из рисунка, территория Центральной Азии состоит из множества блоков, границы которых отчетливо выделяется расположением эпицентров землетрясений. Эпицентры землетрясений цепочками расположены вдоль активных разломов граничащих крупные литосферные блоки. Обращает внимание распределение землетрясений вокруг блока северо-восточной части Срединного Тянь-Шаня. Эпицентры землетрясений с $M \geq 6.0$

цепочкой окружают границ блока. Характерным является отсутствие эпицентров землетрясений с $M \geq 6.0$ вдоль Талассо-Ферганского разлома и во внутренней части литосферного блока.

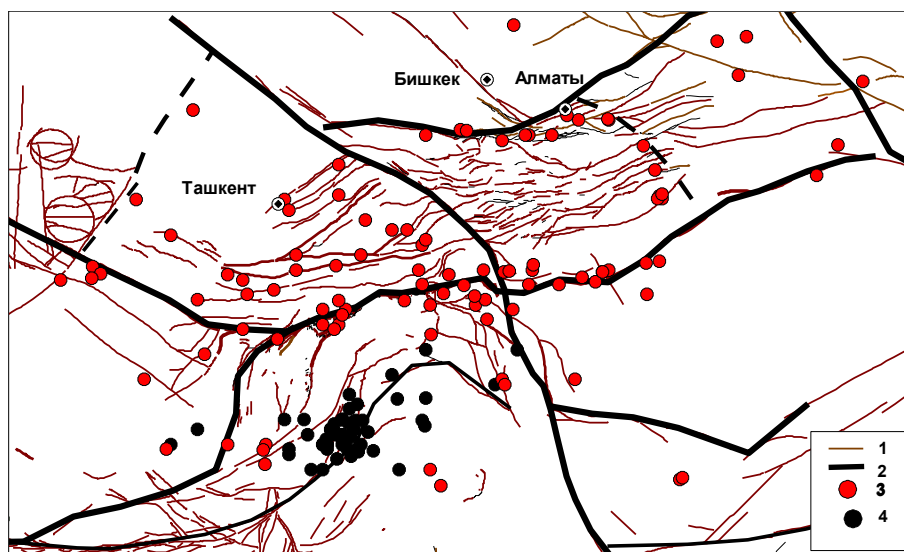


Рис. 2. Пространственное распределение землетрясений Центральной Азии с $7.0 > M \geq 6.0$.

1-разломы земной коры по [7]; 2 – условные границы блоков земной коры; эпицентры землетрясений с: 3 – $M \geq 6.0$; 4 – $M \geq 6.0$ и $H > 70$ км.

Пространственное распределение сильных землетрясений в юго-западной части Срединного Тянь-Шаня существенно отличается от распределения северо-восточной части. Из рисунка видно, что здесь основная часть землетрясений приурочена внутриблочному пространству, т.е. тем зонам разломов, которые разграничивают блоки меньшего масштабного уровня. Из рисунка отчетливо видно, что зона Бесопано-Южно-Феганского разлома в масштабе крупных блоков Срединного Тянь-Шаня относится к категории внутриблочных разломов. Отсутствие сильных внутриблочных землетрясений в востоку от Талассо-Ферганского разлома, по всей видимости, связаны с его большей раздробленностью, следовательно, отсутствием условий для накопления больших напряжений способных вызвать землетрясения с $M \geq 6.0$. С другой стороны, распределение очагов сильных землетрясений только вокруг блока свидетельствует о том, что в региональном геодинамическом процессе данная часть Срединного Тянь-Шаня участвует как единое целое. Основная часть действующих внешних тектонических напряжений расходуется на движение блока в целом. Аналогичная картина наблюдается и в зонах разломов, потенциал которых не превышает $M=6.5$. Наблюдаемая картина свидетельствует о том, что основная часть энергии сил внешних воздействий перераспределяется во внутриблочных структурах. Исходя из размеров блока, сеймотектонический потенциал внутриблочных зон разломов не превышает $M=6.5$. Это хорошо соответствует наблюдаемой картине. Об этом свидетельствует и распределение сильнейших (с $M \geq 7.0$) землетрясений (рис.3). Эпицентры всех землетрясений Срединного Тянь-Шаня с $M \geq 7.0$, кроме Суусамырского 1992 г., приурочены к граничным зонам выделенных крупных блоков земной коры. Судя по количеству землетрясений, наибольшей сейсмической активностью отличается зона Южно-Тянь-Шанского разлома. В пределах зоны за 130-150 лет произошли 13 землетрясений с $M \geq 7.0$, из них одно – Кашгарское 1902 г. имело силу $M = 8.1$. Эпицентр этого землетрясения приурочено к месту пересечения Южно-Тянь-Шанского и Талассо-Ферганского разломов, т.е. к области взаимодействия четырех крупных блоков земной коры.

В отличие от этого, за этот период на северной границе блока произошли всего лишь 6 землетрясений с $M \geq 7.0$. Из них два землетрясения - Чиликское 1889 г. и Кеминское 1911 г. имели силу $M=8.3$ и 8.2 соответственно. На первый взгляд, кажется, что сейсмический потенциал северо-восточной части Срединного Тянь-Шаня выше, чем потенциал юго-западной части. Однако количество землетрясений с $M \geq 7.0$ на северной части в два раза меньше, чем на южном борту.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что напряженно-деформированное состояние блоков земной коры зависит от их характерного размера. Сильные и сильнейшие землетрясения возникают на границах крупных блоков и связаны региональными

геодинамическими процессами. Землетрясения средних магнитуд возникают в межблочном пространстве и являются следствием перераспределения накопленных в блоке напряжений. В зависимости от характерного размера блока наблюдается периоды одновременной активизации сейсмичности по всей протяженности единой сейсмогенной зоны.

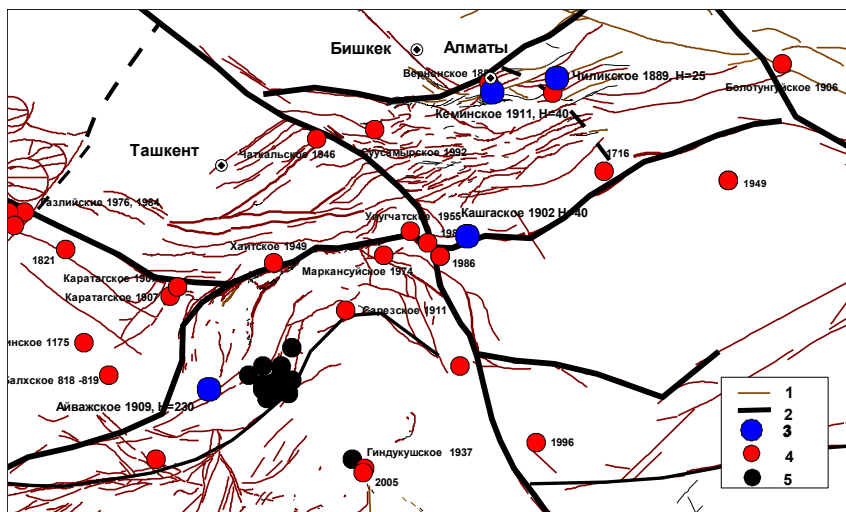


Рис.3. Пространственное распределение землетрясений Центральной Азии с и $M \geq 7.0$. 1 - разломы земной коры по [7]; 2 – условные границы блоков земной коры; эпицентры землетрясений; эпицентры землетрясений с: 3- $M \geq 8.0$; 4 – $M \geq 7.0$; 5 - $M \geq 7.0$ и $H > 70$ км.

В пространственно-временном распределении землетрясений Южно-Ферганской и Северо-Кульджуктау-Туркестанской сейсмогенных зон наблюдается взаимообусловленность, заключающаяся в том, что разные борта геодинамического блока, расположенного между разломами, активизируется поочередно. Сейсмическая деятельность обеих сейсмогенных зон полностью контролируется динамикой геоблока, расположенного между Бесопано-Южно-Ферганским и Северо-Кульджуктау-Туркестанским разломами. Пространственное распределение сильных землетрясений в юго-западной части Срединного Тянь-Шаня (юго-западная часть от Талассо-Ферганского разлома) существенно отличается от распределения северо-восточной части. В северо-восточной части Срединного Тянь-Шаня сильные землетрясения происходят в основном на границах крупных литосферных блоков, а на юго-западной части – они приурочены к внутривнутриблочному пространству (к зонам разломов меньшего уровня).

Литература

1. Ибрагимов Р.Н. Сейсмотектоника Ферганской впадины. Ташкент: Фан. 1970. 148с.
2. Карта «Сейсмогенные зоны Узбекистана и прилегающих территорий». М: 1:1600000. Отв.ред. Р.Н.Ибрагимов. Ташкент, ГНПП Картография. 2011. 1 лист.
3. Нурматов У.А., Ибрагимов Р.Н. Результаты сейсмотектонических исследований в Узбекистане. В сб. Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент. 2016. С.37-47.
4. Садовский М.А. Иерархия структур от пылинок до планет. Земля и вселенная. Земля и вселенная. 1984. №6. С.4-9.
5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1974г. Под. ред. Н.В.Кондорской и Н.В.Шебалина. М: Наука. 1977. 536 с.
6. Абдрахматов К.Е., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н., Усманова М.Т. Сейсмологическая база данных Центральной Азии как основа изучения региональных геодинамических процессов /Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геозкологические проблемы. Бишкек: ИС РАН. 2008. С.25-43.
7. Трифонов В.Г., Востриков Г.А., Трифонов Р.В., Соболева О.В. Активные разломы Евразии: Геодинамический аспект /Тектонические и геодинамические феномены. М.: Наука. 1997. С.174-195.

MUHANDISLIK SEISMOLOGIYASI

УДК 550.343.3.

Исмаилов В.А.

*Институт сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
vakhit.mbm@mail.ru*

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ismailov V.A.

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G'.O. Mavlonov nomidagi Seismologiya instituti, Toshkent shahri., O'zbekiston Respublikasi, vakhit.mbm@mail.ru, alisher1957@mail.ru

MUAYYAN OB'EKTLARNING SEYSMIK RISKINI MIQDORIY BAHOLASHNING ILMIY-METODIK ASOSI

Annotatsiya. Maqolada Jizzah shahridagi muayyan ob'ektlarda olib borilgan muhandislik-seysmologik tadqiqot natijalari umumlashtirilgan. Muayyan ob'ektlarning seysmik riskini baholashning metodologik asoslari ko'rib chiqilgan bo'lib, uning tarkibiy qismi deb seysmik xavfni baholash, grunt sharoitini va seysmik tebranishni masofa bo'ylab so'nish parametrini hisobga olgan holda seysmik ta'sirni baholash va inshootlarning seysmik konstruktiv zaifligini aniqlash belgilangan. Muayyan ob'ektlarning seysmik riskini miqdoriy baholash metodologiyasi Jizzah shahridagi ko'p qavatli turar joy binolar misolida aprotatsiya qilingan.

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

Исмаилов В.А.

*Института сейсмологии им. Г.А.Мавлянова АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан,
vakhit.mbm@mail.ru, alisher1957@mail.ru*

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. В статье обобщены результаты комплексных инженерно-сейсмологических исследований на точечных объектах г.Джизака. Рассмотрены методологические аспекты оценки сейсмического риска точечных объектов, которые включают оценки сейсмической опасности, сейсмического воздействия с учетом грунтовых условий и параметров затухания сейсмических колебаний с расстоянием и расчета сейсмической конструктивной уязвимости зданий и сооружений. На примере многоэтажных жилых зданий г.Джизака апробирована разработанная методология количественной оценки сейсмического риска точечных объектов.

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. Tashkent, Republic of Uzbekistan,
vakhit.mbm@mail.ru, alisher1957@mail.ru*

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASIS OF QUANTITATIVE ASSESSMENT OF SEISMIC RISK OF POINT OBJECTS

Annotation. The article summarizes the results of comprehensive engineering and seismological studies at point objects in Jizzakh. The methodological aspects of assessing the seismic risk of point objects are considered, which include assessments of seismic hazard, seismic impact, taking into account soil conditions and attenuation parameters of seismic vibrations with distance and calculation of seismic structural vulnerability of buildings and structures. The developed methodology for the quantitative assessment of seismic risk of point objects was tested on the example of multi-story residential buildings in Jizzakh.

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

Введение. В мировой практике сейсмологических исследований проблема количественной оценки сейсмической опасности и прогнозирование последствий сильных землетрясений является чрезвычайно актуальной. Во многих странах с высоким уровнем сейсмичности, решение проблемы оценки сейсмического риска и минимизации ущерба при землетрясениях рассматривается как важный фактор устойчивого социально-экономического развития страны. В связи с этим, создание инженерно-сейсмологических основ сейсмического риска, как важнейшей

составляющей оценки последствий сильных землетрясений сейсмоактивных территорий, является приоритетной задачей [3,4].

В Республике особое внимание уделяется защите населения и территории от природных и техногенных катастроф. Для обеспечения сейсмической безопасности территории разрабатываются превентивные мероприятия по повышению устойчивости жилых, административных и социальных зданий, промышленных объектов и систем жизнеобеспечения на основе карт сейсмического районирования различных уровней. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан (Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. № УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан») определены важные задачи по совершенствованию системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Исходя из этого, одной из важнейших проблем является разработка технологии прогноза последствий сильных землетрясений на различных территориальных уровнях, что имеет большое научное и практическое значение.

Точечными объектами являются площадки занятые инженерными сооружениями, т.е. физически занятые часть земной поверхности. К таким объектам могут относиться все наземные и подземные здания и сооружения, которые рассматриваются как объект оценки уязвимости при землетрясениях. Среди них наиболее важными с точки зрения сейсмической безопасности являются особо ответственные здания и сооружения (гидротехнические сооружения, АЭС, ТЭС, высотные здания, крытые спортивные и развлекательные сооружения, объекты массового пребывания людей и др.), архитектурные памятники (медресе, мечети, минареты и гробницы) социальные объекты (школы, детские сады и больницы) и многоквартирные жилые здания.

Целью исследования объекта является оценка сейсмической уязвимости конструктивных элементов зданий, прогноз возможного прямого ущерба при сценарных землетрясениях и разработка проектов антисейсмического усиления зданий.

Объекты и методология исследования. Методология оценки сейсмического риска состоит из трех последовательно выполняемых блоков задач, которые выглядят в следующем образом (рис.1):

БЛОК-источник, связанный с оценкой сейсмической опасности территории расположения точечного объекта на основе детерминистического и вероятностного подхода.

БЛОК-воздействие, связанный с оценкой сейсмического воздействия на точечный объект с учетом поведения грунтовых оснований.

БЛОК-последствие, связанный с расчетом сейсмической конструктивной уязвимости точечного объекта при возможных сейсмических воздействиях.

Разработанная принципиальная концепция (рис.1) оценки сейсмического риска практически апробированы на примере города Джизака.

Объектом исследования выбраны многоэтажные жилые здания на территории г.Джизака.

Результаты и их обсуждение. Оценка сейсмического риска проводилась на объектах, расположенных на территории махалли Касоблик г.Джизака. Объекты исследования: 5-этажный кирпичный жилой дом комплексной конструкции, построенный в 2008 г. с антисейсмическими мероприятиями на 7 баллов и 4-этажный крупнопанельный жилой дом, построенный в 1982 г. с антисейсмическими мероприятиями на 7 баллов. Оба жилые здания расположены на площадках с одинаковыми грунтовыми условиями. Площадка характеризуется ровной поверхностью, где распространены пролювиальные лессовые грунты мощностью 12 м, подстилаемые песчано-дресвяными отложениями. Грунтовые воды вскрываются на глубине более 8 м. Лессовые грунты имеют следующие значения показателей физико-механических свойств: плотность грунта - 1,46-1,57 г/см³, влажность - 12,3-17,8%, пористость - 47,5-51,2 %, степень влажности 0,3-0,52, число пластичности -7-8, консистенции - -0,025+0,25, второй тип просадочности с величиной относительной просадочности 0,204, сила сцепления -0,0058-0,076 МПа, компрессионный модуль общей деформации - 17,8-20,1 МПа.

По данным сейсморазведочных исследований, скорость распространения продольных волн в лессовых грунтах колеблется в пределах 490-530 м/с, в среднем 515 м/с, скорость поперечных волн - 280-330 м/с, в среднем 300 м/с. Приращение сейсмической балльности по отношению референтного грунта составило +0,3 балла. Согласно карте сейсмического микрорайонирования г.Джизака 1980 г., площадка относится к 7-балльной сейсмичности, что подтверждают результаты сейсморазведочных исследований.

В связи с тем, что на площадке распространены просадочные лессовые грунты необходимо оценить влияние сейсмических воздействий на устойчивость грунтовой толщи. Для определения коэффициента сейсмической неустойчивости лессовой толщи проведены инструментальные записи микросейсм на свободной поверхности.

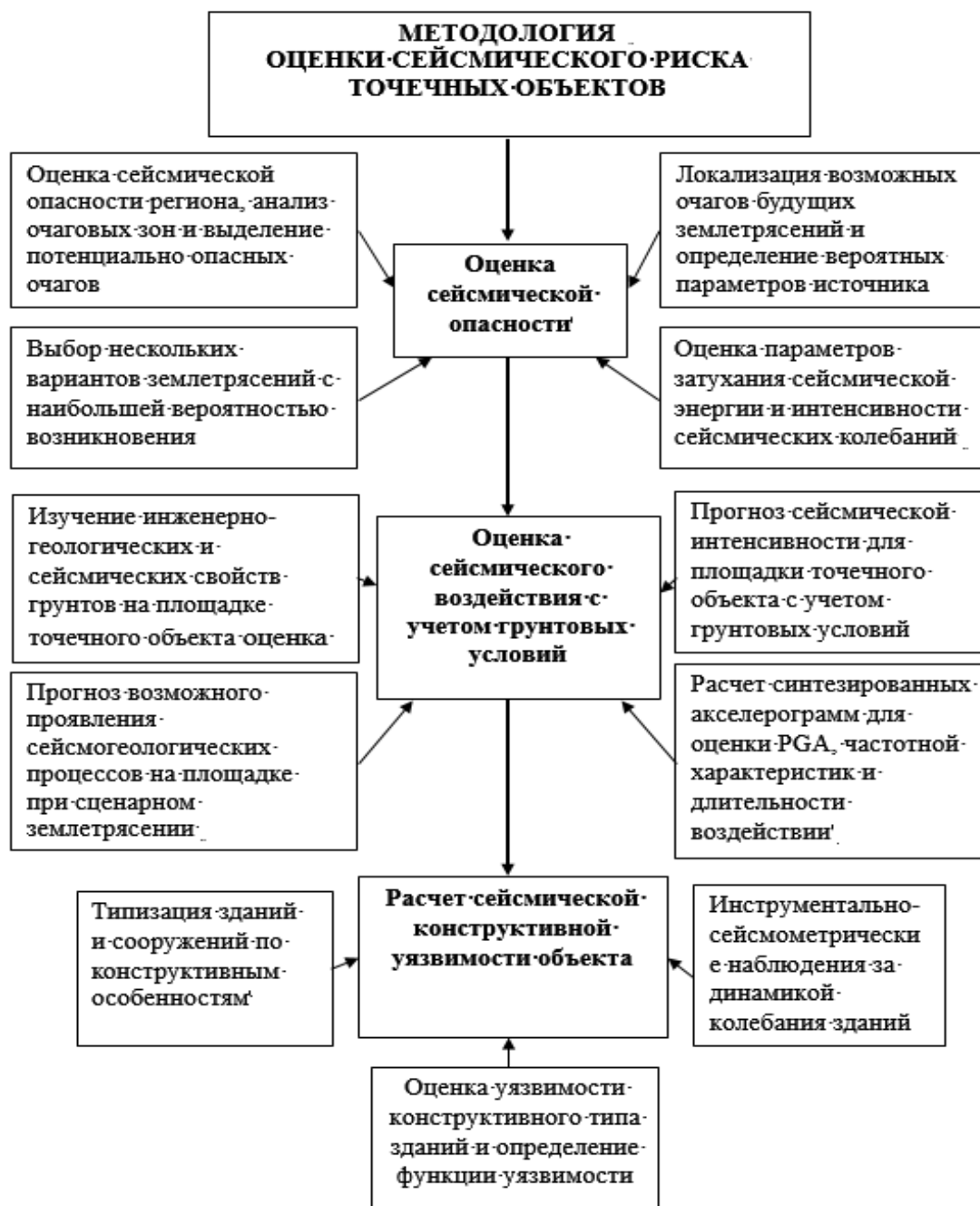


Рис.1 Блок-схема методологии оценки сейсмического риска точечных объектов.

Для оценки динамических характеристик колебания грунтовых толщ были инструментально зарегистрированы колебания грунта в открытой поверхности. При обработке полученных данных с использованием пакета программ JSESAME и GEOPSY для каждой точки строились графики функции Накамуры (H/V Nakamura's ratio). После этого, для нее вычисляется горизонтальное ускорение, которое характеризует максимальный сдвиг точки наблюдения.

Формула для определения максимального ускорения по Накамура [2,5] имеет вид:

$$\alpha_{saj} = 10^4(4\pi^2 F^2 h_j / A_{sgj} - A_{sgj-1}) \gamma_{aj} \quad (1)$$

где α_{saj} – горизонтальное ускорение; F – преобладающая частота в данной точке измерений; h_j – высота j этажа; A_{sgj} – коэффициент усиливаемости этажа; γ_{aj} – угол возможного деформационного скоса j -того этажа.

Полученные спектральные графики усиливаемости сотрясений на наиболее доминирующих частотах позволили вычислить значения, так называемого индекса уязвимости (K) (vulnerability index), который представляет безразмерную величину, вычисляемую по квадрату коэффициента (ордината на графиках Накамуры) усиления (A_{max}), деленного на значение основной частоты (по абсциссе графика Накамуры) соответствующая значению A_{max} частота (F) по формуле:

$$K = A_{max}^2 / F \quad (2)$$

С использованием метода Накамуры рассчитаны максимальное значение индекса уязвимости (K) и соответствующие этому значению частоты колебания. На рис. 2 показан спектр HVSR на свободной поверхности грунта на расстоянии 15 м от зданий.

Согласно формуле (2), в исследуемой точке коэффициент динамической неустойчивости грунтов равняется 4,45, что соответствует сейсмически устойчивым грунтам.

Приращение сейсмической балльности по результатам записей микросейсм на площадке составило +0,2 балла, что соответствует данным сейсморазведочных исследований.

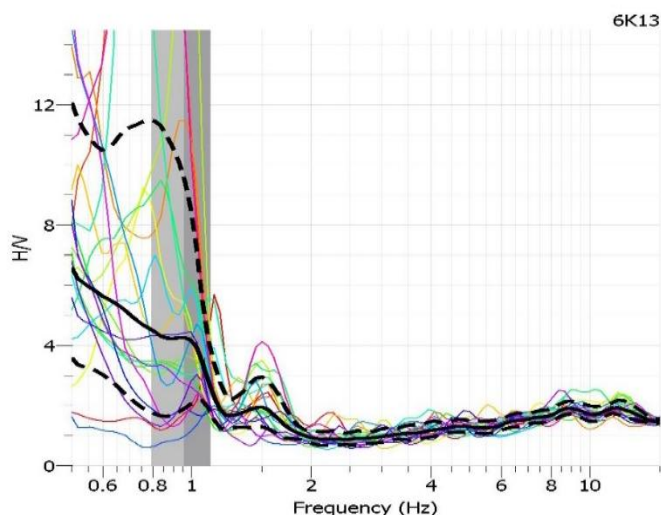


Рис.2. Спектр HVSR на грунте возле 5-этажного здания.

Отметим, что уровень сейсмической интенсивности на площадке от максимального землетрясения определяется на основании учета закона затухания сейсмической интенсивности и детализации распределения величины сейсмической интенсивности с учетом грунтовых условий. Так, площадка расположения жилых зданий в махалле Касоблик относится к 7 - балльной зоне сейсмической интенсивности от очага максимального расчетного землетрясения, что соответствует максимальным пиковым

ускорением 190 см/с^2 .

При оценке сейсмической уязвимости зданий, помимо макросейсмического балла, необходимы данные максимально приближенные к реальным инженерно-сейсмологическим условиям [1]. Для прогнозирования параметров сейсмического воздействия на площадке использована компьютерная программа ProShake 2.

Исходные данные для расчета синтезированных акселерограмм являлись:

1) параметры очага максимального землетрясения ($M=6,0$; $H=10 \text{ км}$, $R=32 \text{ км}$).

2) грунтовые условия до глубины 30 м представлены:

- до глубины 12 м лессовые грунты с плотностью $1,52 \text{ г/см}^3$, скорости $V_p = 515 \text{ м/с}$, $V_s = 270 \text{ м/с}$;

- на глубинах 12-16 м распространены обводненные песчано-дресвяные отложения с плотностью $1,68 \text{ г/см}^3$, скорости $V_p = 1750 \text{ м/с}$;

- на глубинах ниже 16 м дресвяно-щелнистые отложения с плотностью более $1,95 \text{ г/см}^3$, $V_p = 1900 \text{ м/с}$, $V_s = 600 \text{ м/с}$;

На рис. 3 представлена синтезированная акселерограмма сейсмических колебаний на площадке жилых домов от максимального землетрясения.

Расчеты максимальных амплитуд периода колебания показали, что при длительности колебаний 12 сек. наибольшие пики частоты колебаний приходятся на 0,2 и 0,35 Гц (рис.3).

Таким образом, на основе теоретических расчетов можно прогнозировать максимальное ускорение PGA, равное 194 см/с^2 , что примерно соответствует 7,0 баллов.

Сейсмическая уязвимость зданий зависит от множества факторов, которые можно разделить на проектные и после проектные. Проектные факторы - связаны с обеспечением сейсмостойкости конструктивных элементов зданий на сейсмические воздействия при проектировании, после проектные с особенностью строительства (соответствие и изменение проектных решений), с эксплуатационными нарушениями, со сроком эксплуатации, природными и техногенными воздействиями и др. В совокупности эти факторы в определенной степени характеризуют состояние зданий, которое отражается в динамических характеристиках колебаний (частоты и формы собственных колебаний, динамическая жесткость сооружения, характеристики затухания колебаний).

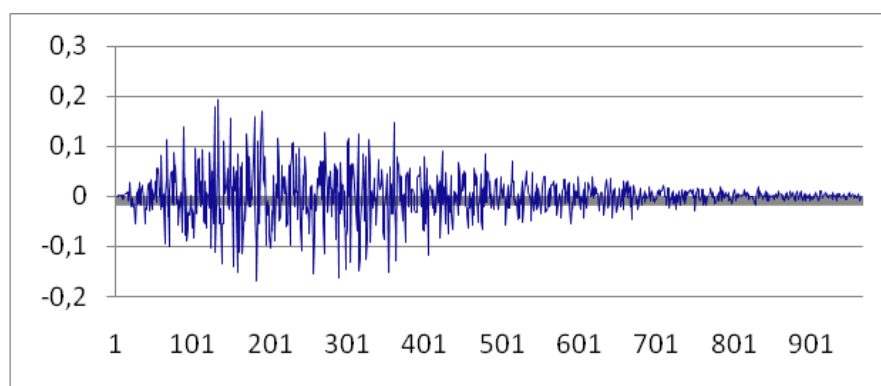


Рис.3.Синтезированная акселерограмма колебаний грунтов на площадке жилых домов махалли Касобликот максимального возможного землетрясения.

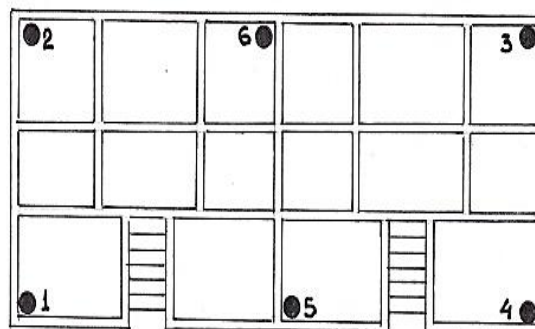
Для оценки сейсмической уязвимости зданий также были проведены инструментальные исследования в чердачных помещениях зданий и в дальнейшем полученные записи колебаний зданий обработаны с использованием метода Накамуры (Y. Nakamura), более известный как метод отношений спектров горизонтальной компоненты записи к вертикальной (the Horizontal to Vertical Spectrum Ratio-HVSRM) при регистрации техногенных микроколебаний [5].

Анализ результатов инструментальных наблюдений за динамикой колебания исследуемых типов зданий показали, что параметры колебаний во многом зависит от конструктивного типа здания, его строительных особенностей, срока эксплуатации и состояний элементов конструкции.

Объект №1 представлен кирпичным зданием комплексной конструкции. Пятиэтажное жилое здание построено в 2008 г. на территории с сейсмичностью 8 баллов. Измерения проводились на чердаке здания в 6-ти точках (рис.4).



а



б

Рис. 4. Внешний вид здания (а) и схема расположения точек инструментально-сейсмометрических наблюдений на чердаке (б).

Для каждой исследуемой точки составлены функции Накамуры, где отражено спектральное отношение горизонтальных и вертикальных колебаний в зависимости от частоты (рис.5). Установлено, что пиковые частоты во всех точках изменяются от 3,5 до 5,5 Гц, а амплитуда отношения спектров A (HVSР) соответствует уровню 6,0.

Обобщенные значения параметров колебаний приведены в табл. 1, где установлены предельные значения ускорения, выше которых здание теряет устойчивость.

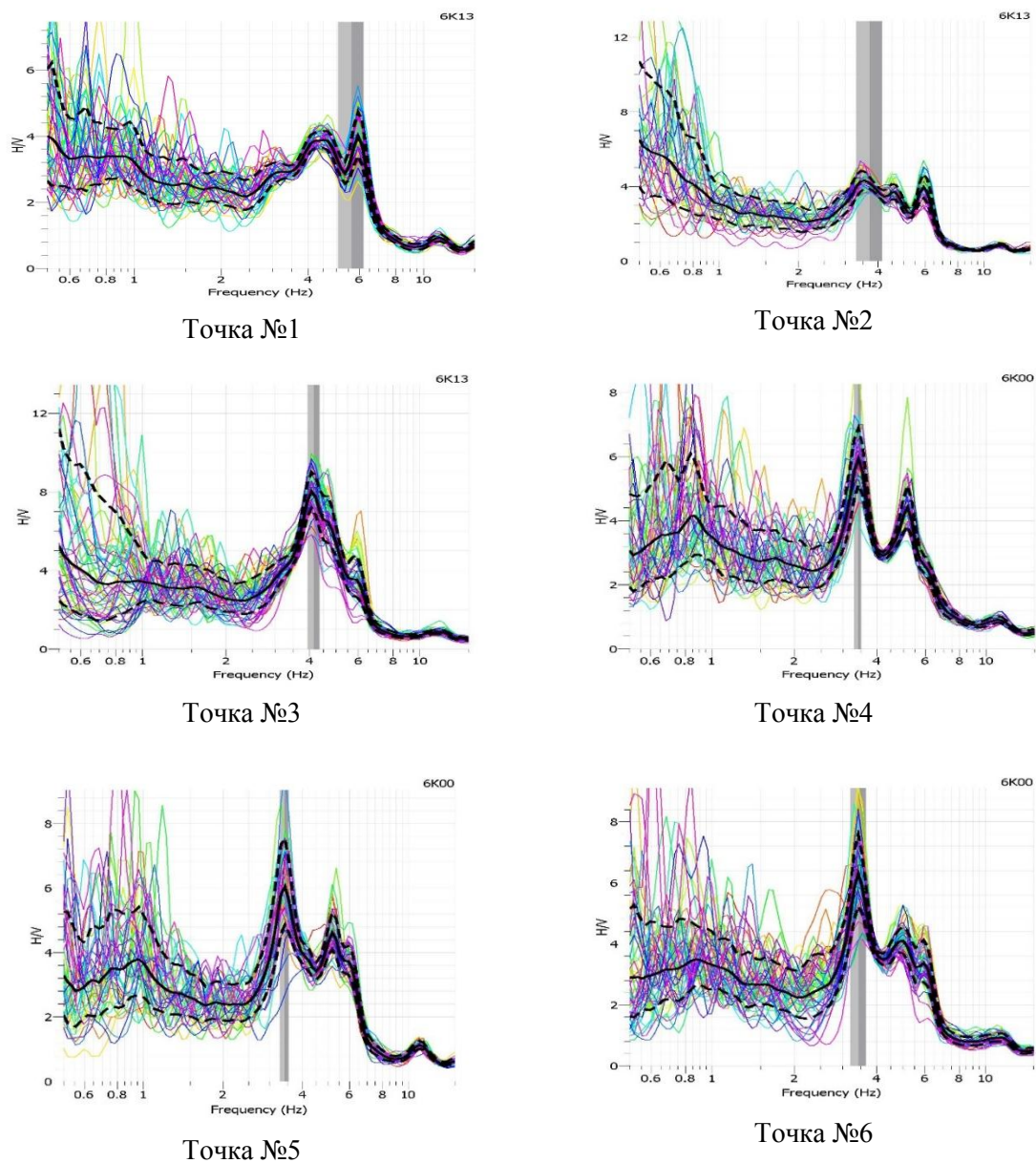


Рис.5. Спектры HVSР микроколебаний в точках наблюдений.

Инструментальные наблюдения позволили фиксировать не только амплитудно-частотные характеристики, но и траекторию колебаний. На рис.6 приведены траектории горизонтальных колебаний в различных точках наблюдений. Из этих графиков можно качественно установить состояние устойчивости зданий в целом и по разным точкам наблюдений. Наиболее устойчивые 1 и 2 точка, так как пучок колебаний имеет более-менее округлую форму. Предел устойчивости этих точек по таблице 1 соответствует ускорениям 291,84 и 231,74 см/с². Пучок колебаний в точках № 3 и № 4 имеет менее симметричный вид и диагональное направление, что означает наличие

ослабленного элемента конструкции или основания. Согласно табл. 1, предел устойчивости точек 3 и 4 ниже, чем для точек 1 и 2 и соответствуют значениям 197,33 и 181,74 cm/c^2 .

Количественные и качественные данные об устойчивости зданий свидетельствуют о важности оценки сейсмической уязвимости по данным инструментально-сейсмометрических наблюдений. Жилое пятиэтажное здание в махалле Касоблик г.Джизака практически неуязвимо при сценарном землетрясении, так как предел устойчивости зданий выше, чем уровень возможного пикового ускорения 194 cm/c^2 .

Таблица 1. Расчетные параметры инструментально-сейсмометрических наблюдений для объекта №1

Точка наблюдений	Преобладающая частота (F)	Спектр отношений, A, (HVSR)	Ускорение/предел устойчивости a_{max} , cm/c^2	Коэффициент уязвимости (по Накамура) K
1	5.65	4	291.84	2.84
2	4.05	6	231.74	8.88
3	3.4	6	197.33	10.58
4	3.4	6	181.74	10.58

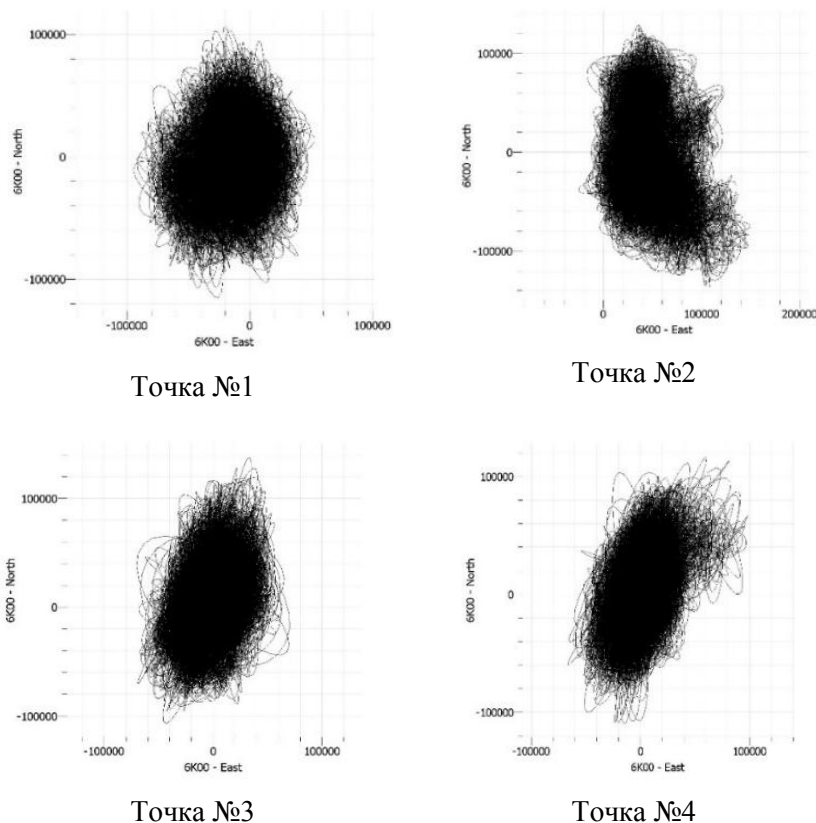


Рис.6. Траектория движения точки наблюдения на объекте №1 в горизонтальной плоскости.

Объект №2. Исследуемая территория застроена крупнопанельными зданиями, которые имеют 4-5 этажей. Объект исследования - здание крупнопанельной конструкции, построенное в 1982 г (рис.7). Регистрация микроколебаний проводилась на крыше в четырех углах одного блока. Спектры HVSR представлены на рис. 8.

Установлены преобладающая частота колебания здания, значения отношений спектров HVSR, предельное значение ускорения, при превышении которого здание в целом или его часть теряет устойчивость, и коэффициент уязвимости. Все эти характеристики обобщены в табл.2.



Рис. 7. Вид четырехэтажного крупнопанельного жилого дома.

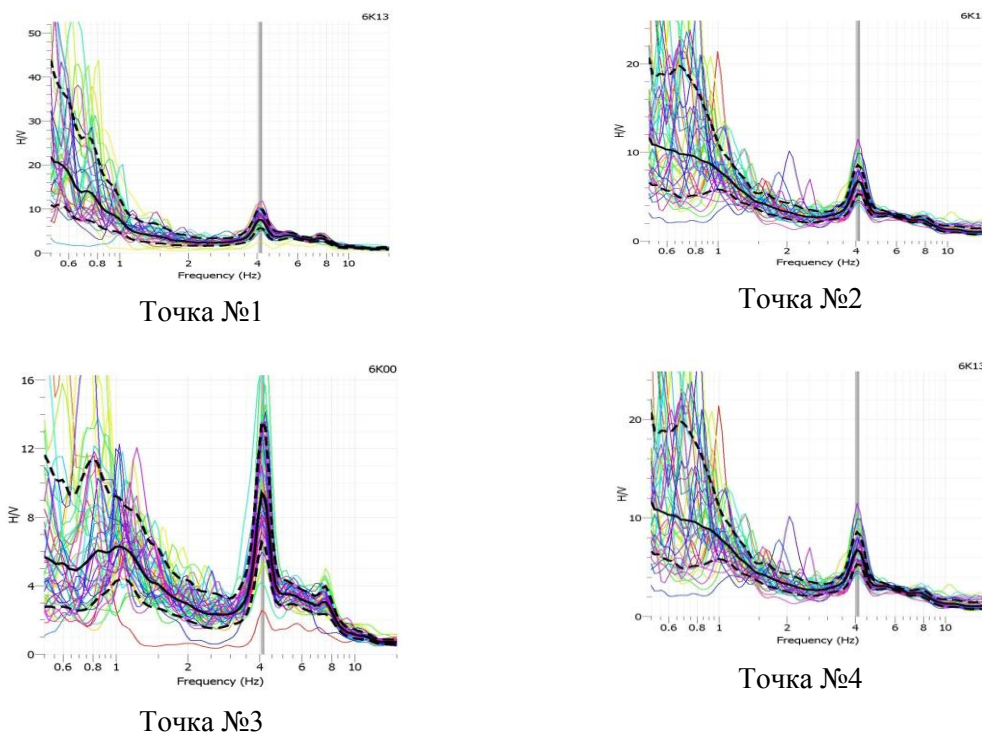


Рис.8. Спектры HVSR для четырех точек наблюдений микроколебаний крупнопанельного здания.

Анализ траекторий микроколебаний точек 1 и 2 показывает, что здание в этих точках колеблется в определенном направлении. Такая ориентация колебаний свидетельствует о наличии поврежденных участков в несущих стенах вследствие деформаций основания или строительного дефекта (рис.9)

Таблица 2. Расчетные параметры инструментально-сейсмометрических наблюдений для объекта №2.

Точка наблюдений	Преобладающая частота (F)	Спектр отношений, A, (HVSR)	Ускорение/предел устойчивости a_{max} , см/с ²	Коэффициент уязвимости (по Накамуре), K
1	4.1	8	80.84	15.61
2	4.1	7.6	85.10	14.09
3	7.1	6.4	175.0	5.77
4	4.1	6	107.7	8.78

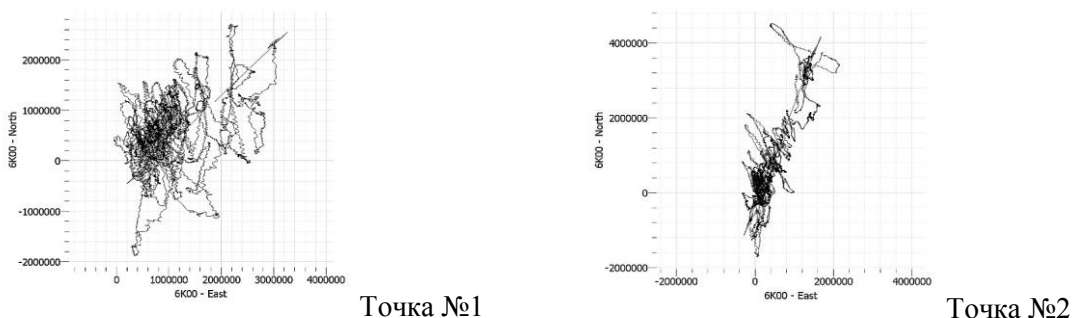
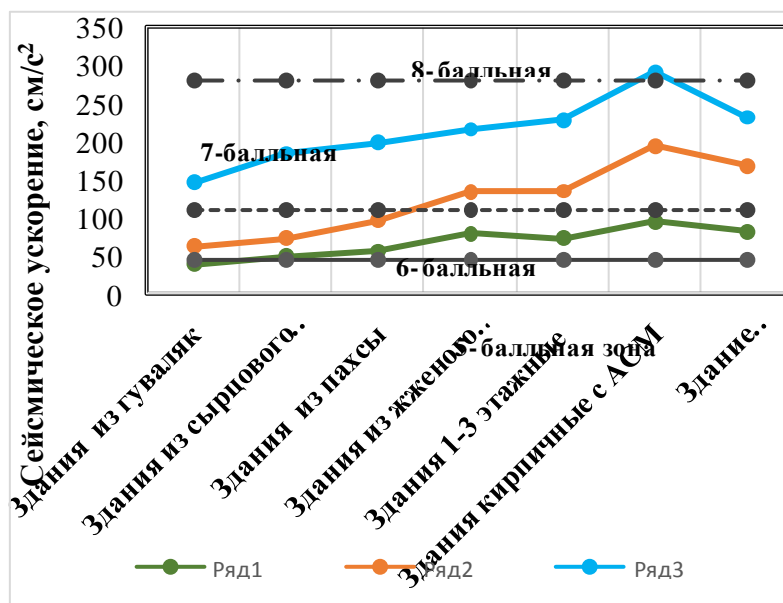


Рис.9. Траектория движения точки наблюдения в горизонтальной плоскости в пункте наблюдения №2



Ряды: 1,2 и 3 - сейсмические ускорения, соответствующие минимальному, среднему и максимальному значению; 4,5 и 6- инструментальная оценка интенсивности, соответствующая 6-,7- и 8 - баллам по макросейсмической шкале.

Рис.10. График изменения значений сейсмических ускорений в зависимости от конструктивных типов зданий.

На основании полученных результатов можно полагать, что 4-этажный крупнопанельный жилой дом при сценарном землетрясении с пиковым ускорением 194 см/с^2 (в точке наблюдений) будет иметь повреждения со степенью 3 и 4, что соответствует полному разрушению. В связи с этим этот точечный объект нуждается в усилении конструкции здания.

Необходимо отметить, что инструментально-сейсмометрические исследования для оценки сейсмической уязвимости проведены на различных типах зданий г.Джизака, результаты которых приведены на рис.10. В графике (рис.10) показаны минимальные, средние и максимальные значения PGA (максимального сейсмического ускорения), выше которых начинается нарушение структурных связей здания, различных конструктивных типов. Для сопоставления полученных

расчетных данных с инструментальной интенсивностью приведены горизонтальные линии, соответствующие 6, 7 и 8 баллам макросейсмической шкалы.

Таким образом, анализ результатов инструментально-сейсмометрических наблюдений за динамикой колебаний различных типов зданий показал, что параметры колебаний во многом зависят от конструктивного типа здания, его строительных особенностей, срока эксплуатации и состояний элементов конструкции. Большой разброс значений расчетных показателей свидетельствует о том, что здания в разных частях (углах) имеют разные амплитудно-частотные колебания. Это, во-первых, связано с наличием в зданиях ослабленных участков, то ли из-за некачественного ведения строительных работ, то ли из-за нарушения конструкции зданий при эксплуатации (срез элементов конструкции, увеличение нагрузки на конструкции, перепланировка и т.д.), во-вторых, с изменением грунтовых условий из-за нарушения водоотводящих и канализационных труб.

Это может свидетельствовать также об отсутствии жесткости конструкции, которая представляется набором отдельных элементов здания, обладающих повышенной неоднородностью физико-механических свойств элементов; также возможно повышенное влияние межконструктивных пустот между помещениями. Например, a_{max} - (максимальные ускорения, выше которых начинается нарушение структурных связей) в 4-этажном крупнопанельном здании в одном углу составило 80,84, в другом 175,04 см/сек². В этих точках коэффициент уязвимости (коэффициент сейсмической неустойчивости), рассчитанный по формуле (2) показал соответственно 15,61 и 5,77.

Выводы. Общая концепция и принципы оценки сейсмического риска точечных объектов исходят из целесообразности использования детерминистического и вероятностного подходов к оценке сейсмических событий. Более предпочтительной является трехступенчатая схема оценки: I – оценка вероятностной сейсмической опасности территории, II – оценка параметров сейсмического воздействия с учетом влияния грунтовых условий и затухания сейсмических колебаний, III – оценка состояния и расчет сейсмической конструктивной уязвимости зданий и сооружений. Результаты оценки параметров сейсмических воздействий с учетом грунтовых условий на площадке расположения точечных объектов являются исходными данными для получения количественных оценок сейсмического риска. При оценке степени возможного повреждения сооружений при сейсмических воздействиях целесообразно использовать такой интегральный показатель как уязвимость сооружения, который учитывает совокупность факторов (тип сооружения, уровень антисейсмических мероприятий, сложность конфигурации, степень структурной неоднородности, состояние сооружения, соотношение параметров системы "грунт-сооружение" и др.), влияющих на сейсмический эффект. Практическое применение метода HVSR позволяет оценить состояние отдельных конструктивных элементов зданий и дать общую характеристику уязвимости зданий, которая позволяет разработать мероприятия по усилению зданий и обеспечить сейсмическую безопасность. Основным показателем сейсмической неустойчивости является коэффициент усиливаемости, который характеризует состояние жесткости конструкции зданий. Установлено, что в зданиях с жесткими конструктивными связями значение коэффициента усиливаемости ниже, чем в зданиях с нарушенными элементами конструкции. Выявлено также, что в зданиях с высокими параметрами устойчивости спектры HVSR смещаются в низкочастотную область, а с низкими - в высокочастотную.

Литература

1. Алказ В.Г., Исичко У.С., Гинсарь В.Н. Сейсмический риск на территории г.Кишинева. Будівельні конструкції.-Киев, 2010.- Вып. 73.- С. 34-43.
2. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Коновалова О.А., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса №3 Российского государственного университета им. И.Канта с применением методики Накамуры. Вестник Краунц. Серия: Наука о Земле. - Петропавловск-Камчатский, 2010, №1, Выпуск №15. – С. 223-231.
3. Кофф Г.Л., Рюмина Е.В. Сейсмический риск (виды, оценка, управление). - М.: НИЦ «Геориск», 2003. - 108 с.
4. Шахраманьян М.А. Оценка сейсмического риска и прогноз последствий землетрясений в задачах спасения населения. - М.: ВНИИ ГОЧС, 2000. - 190 с.
5. Nakamura Y., Gurler E.Dilek, Saita J. et al. Vulnerability investigation of Roman Coliseum using microtremor. Proceeding, 12th WCEE 2000 in Auckland. NZ. pp. 1-8.

TEKNOGEN SEYSMIKLIK

УДК 550.341

Ибрагимов А.Х.¹, Хамидов Х.Л.¹, Юлдашев Э.Ш.², Мажидов Ж.Р.²

¹Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз

²Национальный университет Узбекистана

ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ

Ibragimov A.X.¹, Xamidov H.L.¹, Yuldashev E.Sh.², Mazjidov J.R.²

¹O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G' A. Mavlonov

nomidagi seysmologiya instituti, ²O'zbekiston milliy universiteti

SANOAT PORTLATISHLARINING DINAMIK TA'SIRIDAN HOSIL BO'LGAN SEYSMIK TO'LOQLARNING KINEMATIK ELEMENTLARINI BAHOLASH

Annotatsiya. O'zbekistonning tog'-kon korxonalarida ommaviy sanoat portlashlari yuz berganda ularning ob'ektlar va inshootlarga qanday seysmik ta'sir qilishini o'rganish.

Kalit so'zlar: portlash, seysmik to'loqlar, spektr, kinematika, dinamika, so'nich

Ибрагимов А.Х.¹, Хамидов Х.Л.¹, Юлдашев Э.Ш.², Мажидов Ж.Р.²

¹Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова АН РУз, ²Национальный университет Узбекистана

ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ВЗРЫВАМИ

Аннотация. Приводятся результаты исследований сейсмического эффекта при массовых промышленных взрывах на карьерах горно-добывающих предприятий Узбекистана, их влияние на объекты и сооружения.

Ключевые слова: взрыв, сейсмические волны, спектр, кинематика, динамика, затухание

Ibragimov A.X.¹, Khamidov Kh.L.¹, Yuldashev E.Sh.², Mazhidov Zh.R.²

¹Institute of Seismology named after G.A. Mavlyanov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

²National University of Uzbekistan

ASSESSMENT OF THE KINEMATIC ELEMENTS OF SEISMIC WAVES UNDER DYNAMIC IMPACTS BY INDUSTRIAL EXPLOSIONS

Annotation. The results of studies of seismic effect in case of mass industrial explosions on quarries of mining enterprises of Uzbekistan, their influence on objects and structures are given.

Keywords: explosion, seismic waves, spectrum, kinematics, dynamics, attenuation

Введение. Сейсмическое воздействие крупных промышленных взрывов является наиболее значимым эффектом массовых взрывов, который определяет целостность промышленных и жилых объектов. В течение последних семи лет для решения различных задач проведены исследования динамического воздействия промышленных взрывов на здания и сооружения на горнодобывающих объектах Узбекистана. К настоящему времени рядом исследователей произведена оценка сейсмического эффекта при массовых промышленных взрывах в карьерах и шахтах [1-6]. Установлены региональные закономерности затухания с расстоянием величины скоростей смещения грунтов и ускорений, зависящие от геологического состава и строения, а также конфигурации размещения взрывчатого вещества (ВВ). Для безопасности строений и конструкций, расположенных непосредственно вблизи карьеров ставилась задача оценки сейсмических нагрузок при промышленных взрывах.

Инструментальное обеспечение. Для регистрации взрывов использовались цифровые велосиметры SMG-6TD и цифровые акселерометры SMG-5TDE производства компании Guralp, Великобритания. *Характеристики цифрового велосиметра SMG-6TD:*

- Диапазон частот: 0,03-100 Гц;
- Коэффициент преобразования 1200 В/см/с
- Динамический диапазон >95 дБ
- Разрядность встроенного АЦП, бит 24

Характеристики цифрового акселерометра SMG-5TDE:

- Диапазон частот: 0-100 Гц; Шкала +-2G
- Динамический диапазон >165 дБ

- Разрядность встроенного АЦП, бит 24

В зависимости от решаемой задачи приборы устанавливались на различных расстояниях от шпуров с ВВ, обычно акселерометры - на расстояниях 50-100 м. Велосиметры устанавливались на бортах и бермах карьеров.

Рассматривались две проблемы. Первая - затухание с расстоянием сейсмических воздействий при промышленных взрывах. Вторая – реакция массива горных пород на динамические воздействия при взрывах.

Объект: карьер Кувасайского цементного завода. Регистрирующие приборы размещались в двух точках: южная – пос.Акташ и северная – окраина г.Кувасая. Расстояние от карьера составляет 920 м и 1120 м соответственно. Первые два взрыва по техническим причинам регистрировались только в точке Акташ.

При рассмотрении кинематических элементов сейсмических волн объективное определение сейсмического эффекта наиболее точно и полно дает векторное значение скорости смещений. Максимальная векторная скорость определяется с учетом компонент X, Y, Z:

$$\bar{U}_{xyz} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \max, \quad (1)$$

Взрыв №1. Масса взрывчатки – 3 тонны.

На рис.1 представления запись колебаний на пункте Акташ.

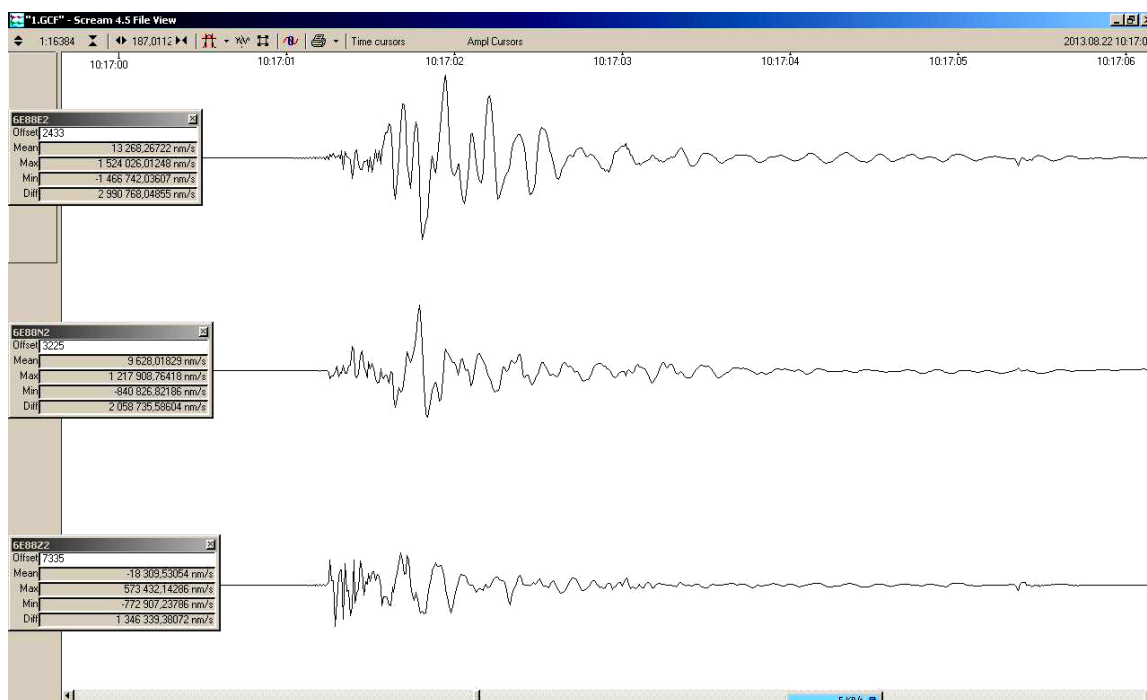


Рис.1. Запись колебаний от взрыва 3 тонн ВВ на пункте Акташ

Пиковые значения скорости смещений грунта представлены в таблице 1.

Таблица 1. Скорости смещений грунта.

Компонента	Скорости смещений, см/с	Векторная составляющая скорости, см/с	Преобладающие Частоты, Гц	Значение в баллах интенсивности в баллах по шкале MSK-64
Восток-Запад	0,152	0,211	4,57	2
Север-Юг	0,121		4,61	2
Вертикальная	0,057		5,35	<1

Взрыв №2. Масса взрывчатки – 5 тонн. На рис.2 представлена запись колебаний на пункте Акташ.

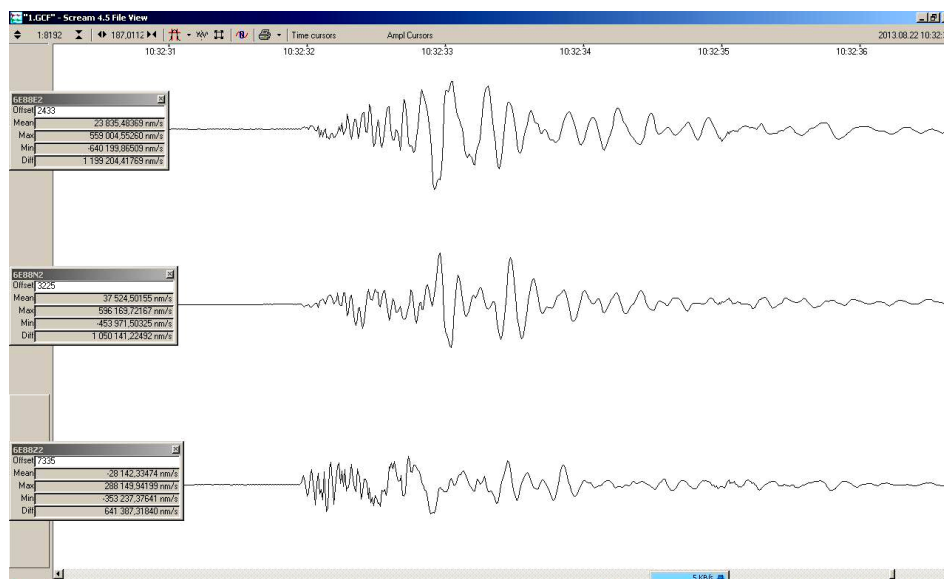


Рис.2. Запись колебаний от взрыва 5 тонн ВВ на пункте Акташ

Пиковые значения скорости смещений грунта представлены в таблицах 2,3 и 4.

Таблица 2. Пиковые значения скорости.

Компонента	Скорости смещений, см/с	Векторная составляющая скорости, см/с	Преобладающие Частоты, Гц	Значение интенсивности в баллах по шкале MSK-64
Восток-Запад	0,060	0,089	4,88	<0,5
Север-Юг	0,059		5,21	<0,5
Вертикальная	0,029		2,36	<0,5

Слабый уровень вибраций при подрыве 5 тонн взрывчатки обусловлен ее расположением на уступе карьера.

Взрыв №3. 8 тонн взрывчатки. Пункт регистрации Акташ (рис.3).

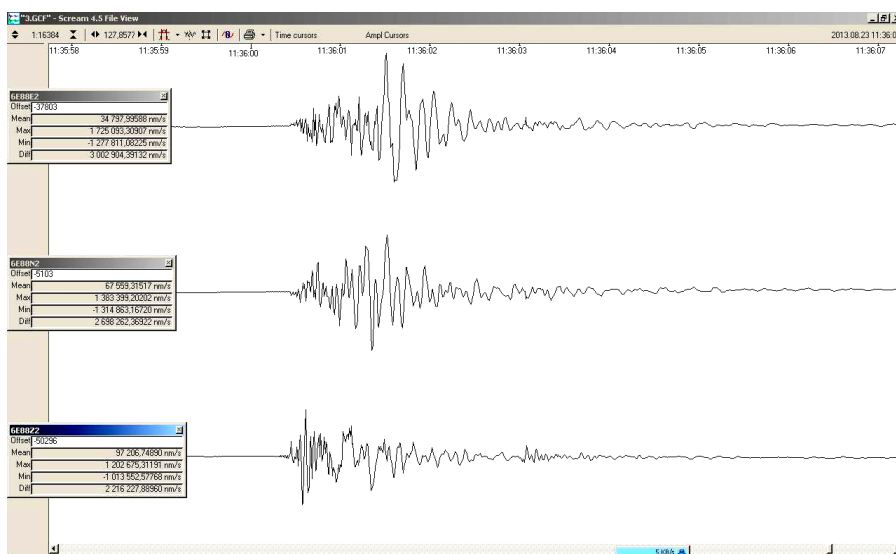


Рис.3. Запись колебаний от взрыва 8 тонн ВВ на пункте Акташ.

Таблица 3. Пиковые значения скорости при заданном взрыве.

Компонента	Скорости смещений, см/с	Векторная составляющая скорости, см/с	Преобладающие Частоты, Гц	Значение интенсивности в баллах по шкале MSK-64
Восток-Запад	0,172	0,240	5,35	2
Север-Юг	0,138		4,65	2
Вертикальная	0,120		5,21/2,92	1

Записи в пункте регистрации Куvasай (рис.4)

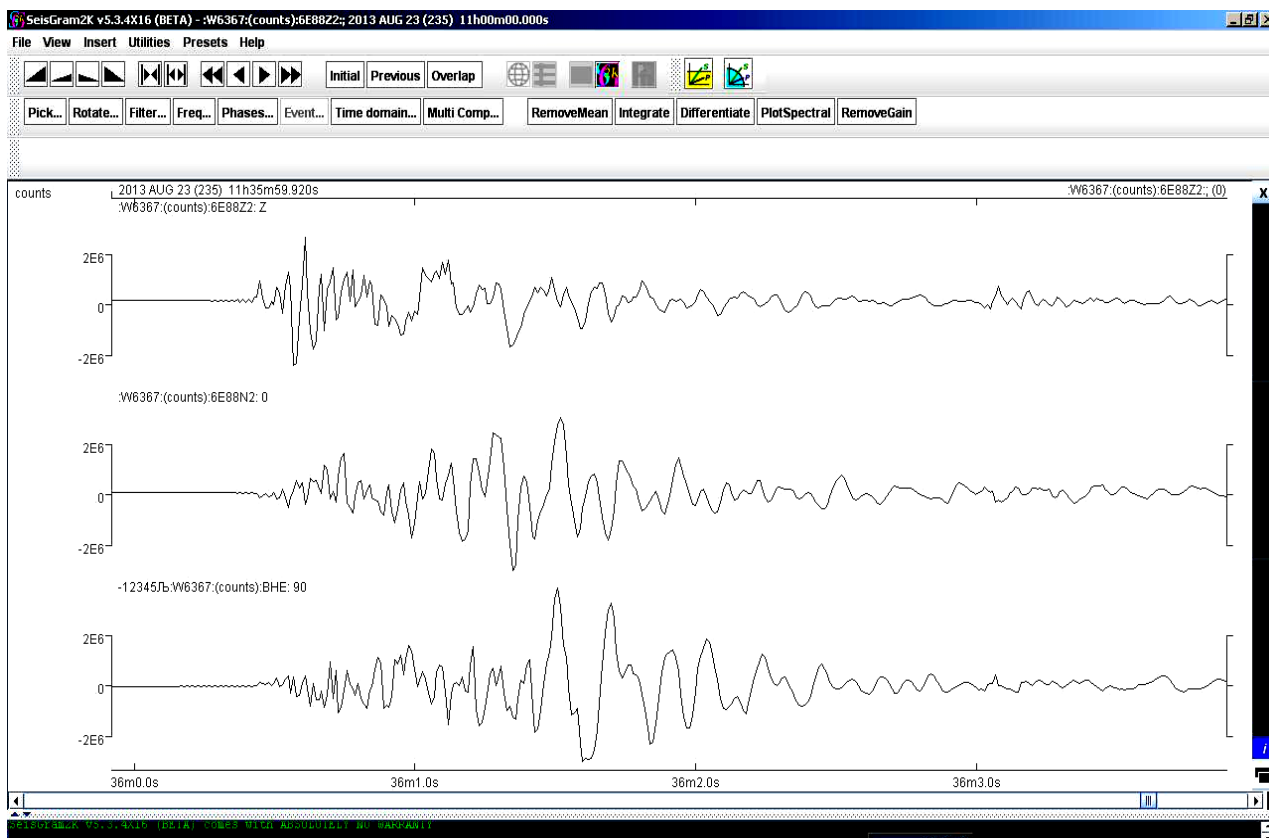


Рис.4. Запись колебаний от взрыва 8 тонн ВВ на пункте Куvasай

Таблица 4.

Компонента	Скорости смещений, см/с	Векторная составляющая скорости, см/с	Преобладающие Частоты, Гц	Значение интенсивности в баллах по шкале MSK-64
Восток-Запад	0,152	0,219	5,35	2
Север-Юг	0,111		4,65	1
Вертикальная	0,090		5,21/2,92	1

Использование эмпирического уравнения для расчета максимального значения скорости смещений грунта от приведенного расстояния $V_{max}=7,25/(1+R^{1,13})$ [4] при взрыве ВВ массой 8 тонн на расстоянии 900 м дало значения скорости вибраций 0,09 см/с.

Объект: карьер Кальмакыр.

Регистрация взрыва производилась с целью оценки затухания колебаний с расстоянием. Первый прибор был установлен вблизи обзорной площадки карьера, второй – рядом с КПП на въезде на карьер, третий прибор – не доезжая 700 м до остановки «Телеграф». Ниже на рис.5,6 и 7

показано соответственно запись взрыва вблизи смотровой площадки, вблизи КПП и вблизи остановки «Телеграф».

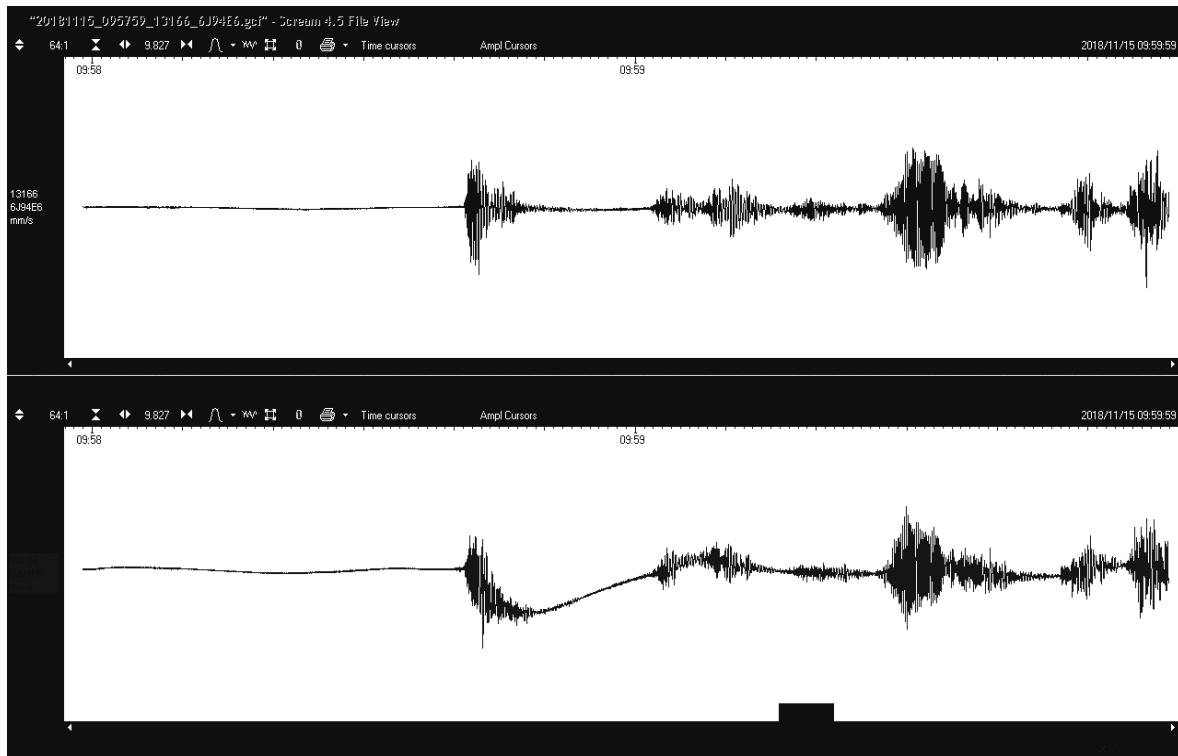


Рис. 5. Запись взрыва вблизи смотровой площадки

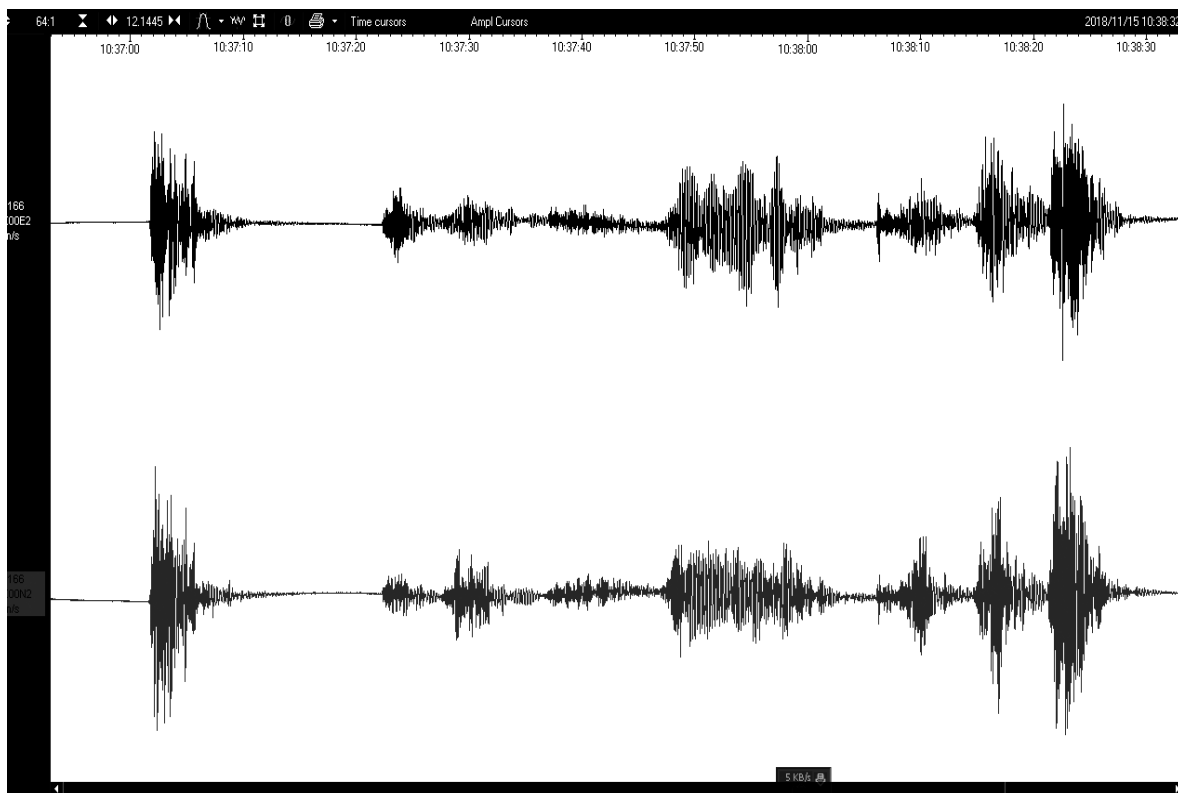


Рис.6. Запись взрыва вблизи КПП.

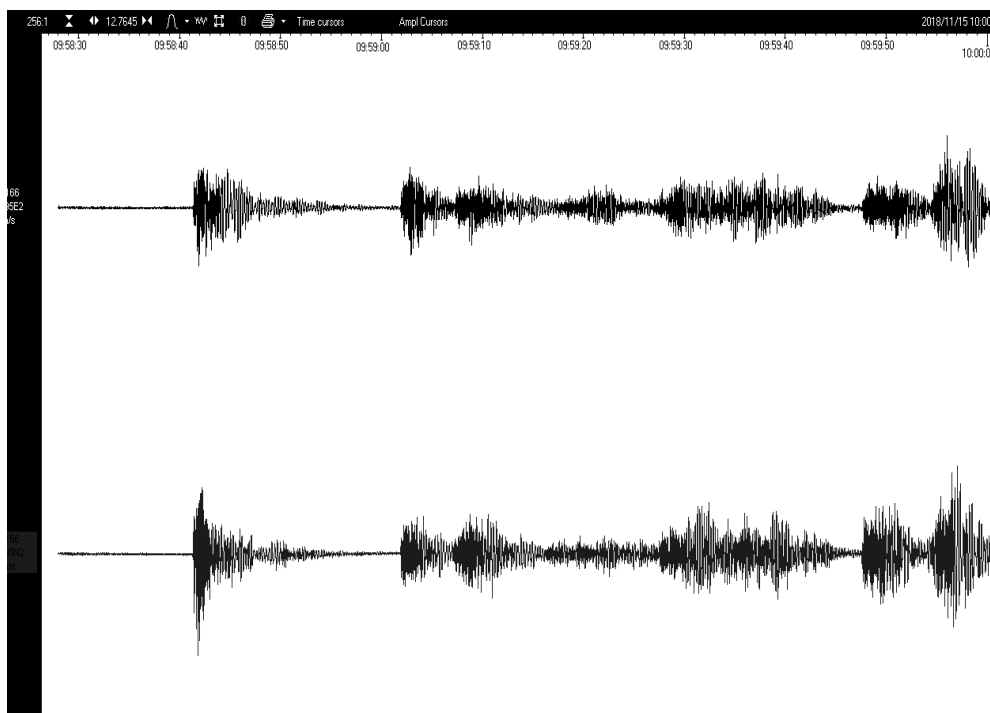


Рис. 7. Запись взрыва вблизи остановки «Телеграф».

Таблица 5. Скорости и интенсивность в баллах по шкале MSK-64

Пункт регистрации	Расстояние от взрыва, м	V, mm/s	Интенсивность в баллах по шкале MSK-64
Смотровая	2009	2.17	3.0
КПП	2440	1.32	3.0
Телеграф	3320	0.40	2.0

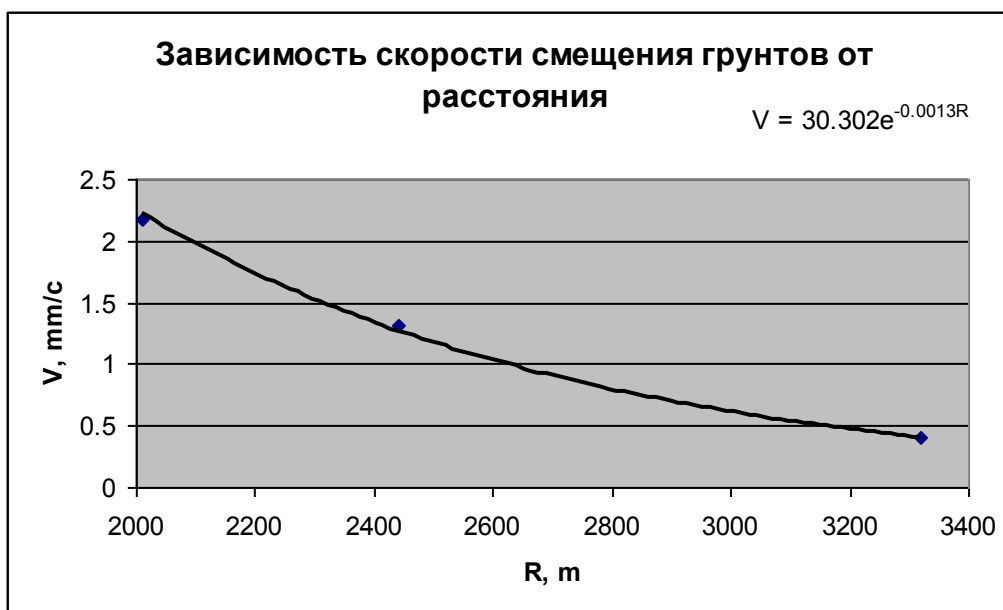


Рис.8. Затухание вибраций с расстоянием.

Оценка спектра колебаний при массовом промышленном взрыве.

Карьер Кальмакыр. Для регистрации взрыва использовались три цифровых сейсмометра CMG-6TD и два акселерометра CMG-5TDE, один из которых был расположен в ближней зоне от взрыва. На рисунках с 9 по 12 показаны спектры записи взрыва на разных пунктах.

На табл.6 показано скорости и интенсивность в баллах по шкале MSK-64.

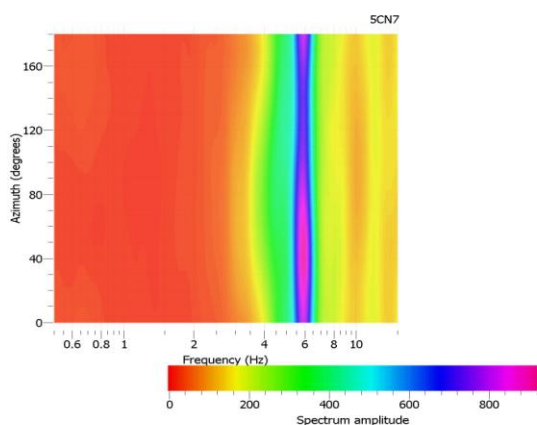


Рис.9. Спектр записи взрыва на пункте №19.

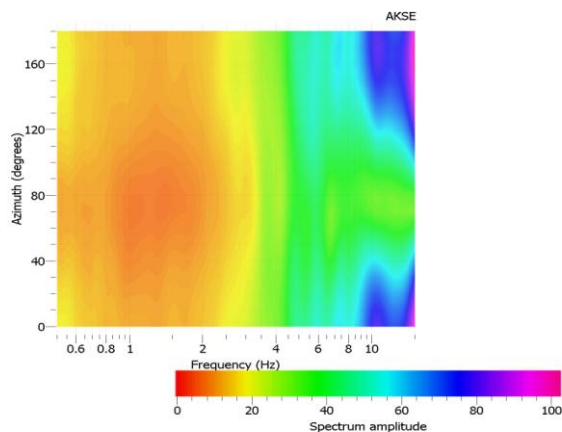


Рис.10. Спектр записи взрыва на пункте №20.

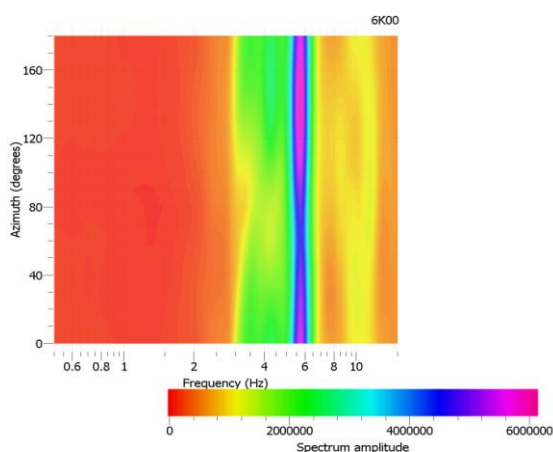


Рис.11. Спектр записи взрыва на пункте №21.

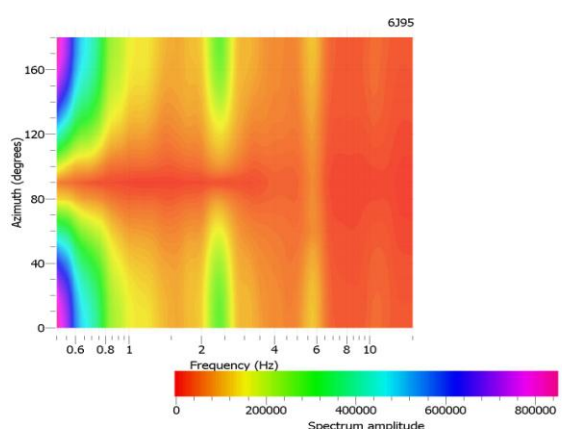


Рис.12. Спектр записи взрыва на пункте №22

Анализ спектрограмм записей взрыва показывает на уменьшение высокочастотной составляющей на участке с раздробленной породой.

Карьер Мурунтау. Запись взрыва произведена с использованием 5 цифровых велосиметров и одного акселерометра, расположенного в ближней зоне. Цель эксперимента – оценка реакции бортов карьера на динамическое воздействие. Пункты регистрации: станция северная, восточная, южная, деформация №50 и деформация №53. Также в ближней зоне был установлен акселерометр CMG-5TDE.

Ниже (рисунки с 13 по 18) приведена запись взрыва 900 тонн, акселерограмма.

Здесь скорости смещения грунта составили:

- Компонента: -Восток-запад - 58,46 см/с²
- Север-юг - 43,03 см/с²
- Вертикальная - 43,78 см/с².

Интенсивность сейсмического воздействия в ближней зоне >6 баллов.

Максимальные сейсмические нагрузки на бортах карьера при взрыве не превысили 4,5 балла по шкале MSK-64. Ниже приведены записи взрыва на пяти пунктах регистрации.

Таблица 6. Значения скорости смещения грунтов следующие:

Пункт регистрации	Восток-Запад, мм/с	Север-Юг, мм/с	Вертикальная, мм/с	Наибольшая интенсивность в баллах
Южная	3,55	3,61	3,66	3,5
Восточная	2,85	2,90	2,94	3,5
Северная	7,80	7,4	8,42	4,5
Деформ.50	1,16	1,75	1,57	3,0
Деформ.55	0,46	0,35	0,42	2,0

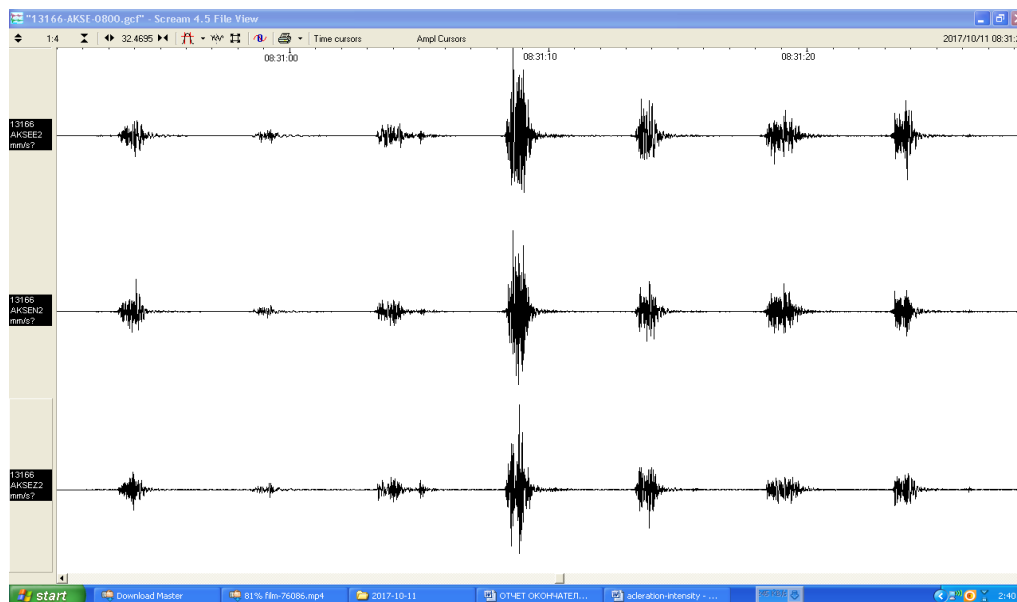


Рис.13. Акселерограмма взрыва в ближней зоне.

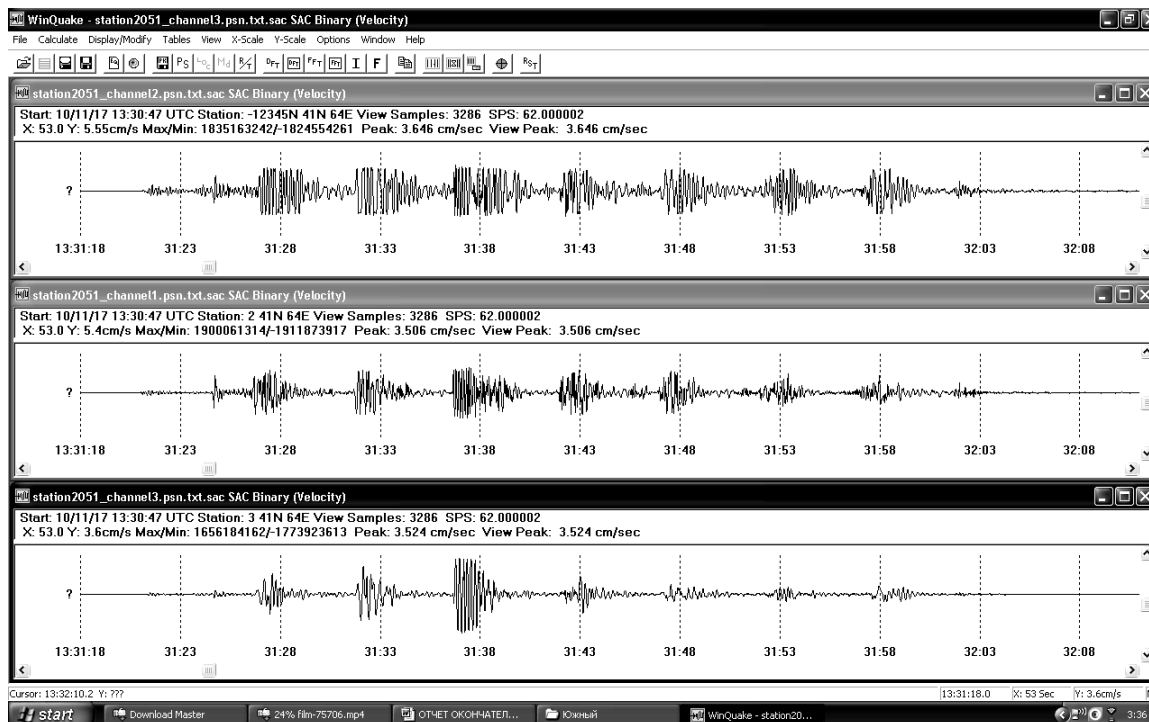


Рис.14. Запись взрыва на ст. «Северная».

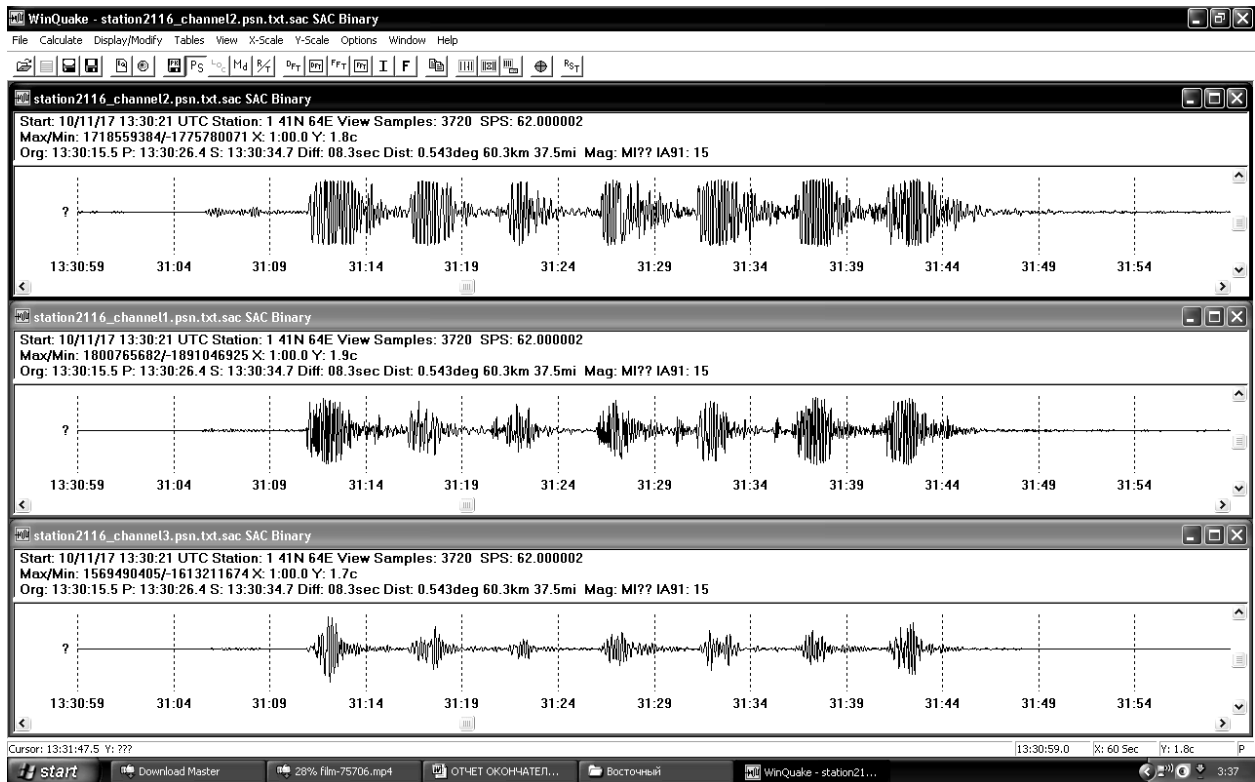


Рис.15. Запись взрыва на ст. «Восточная».

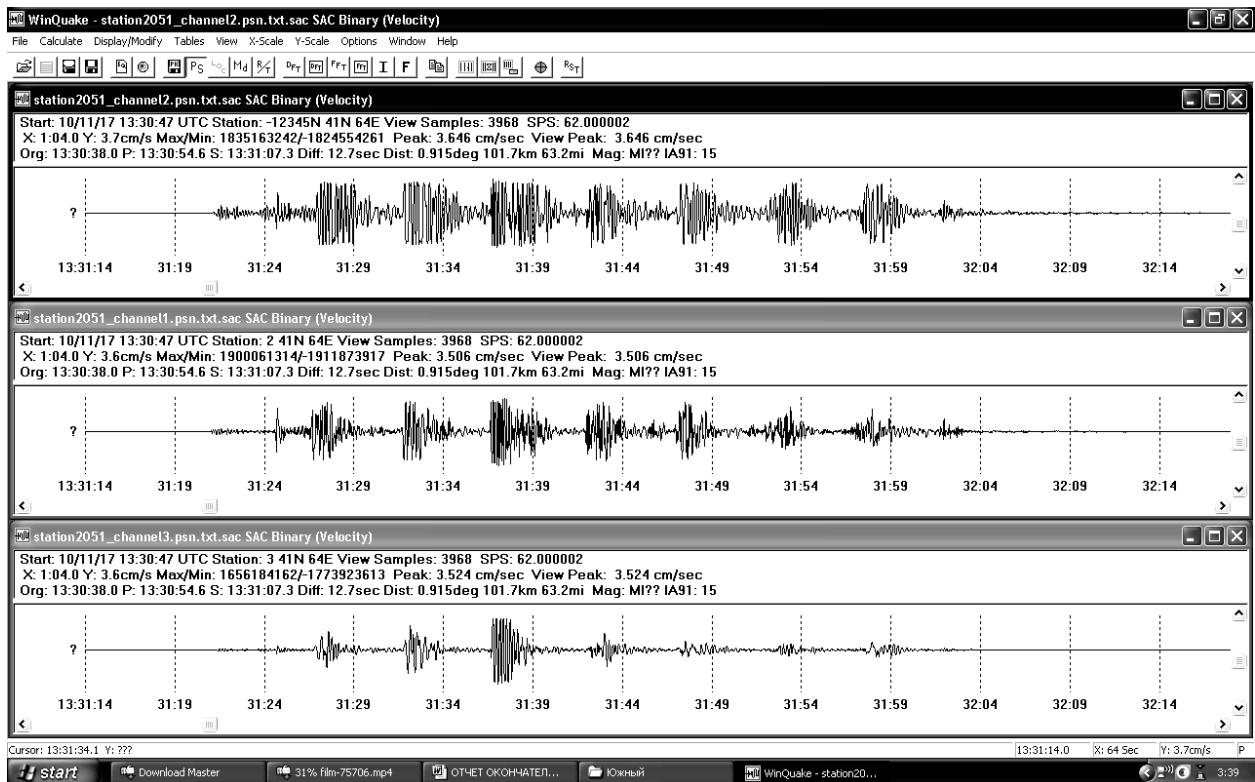


Рис.16. Запись взрыва на ст. «Южная».

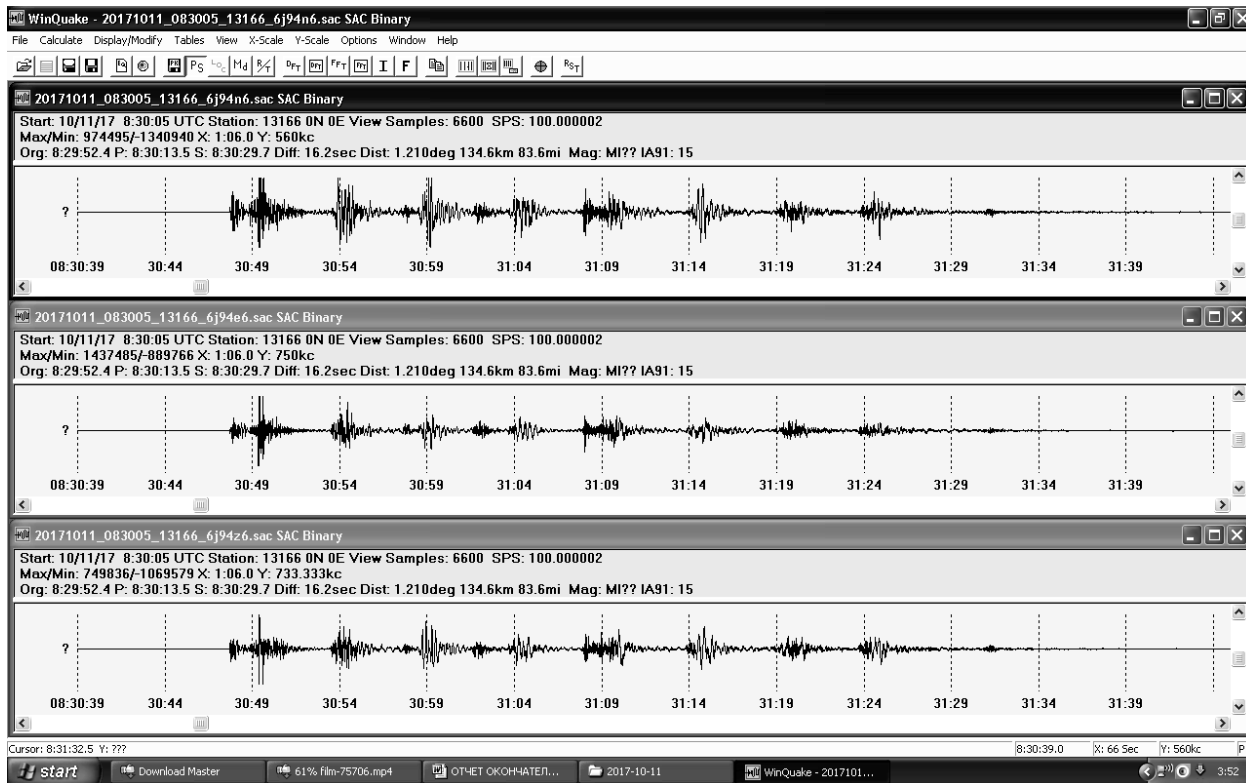


Рис.17. Запись взрыва на «деформация № 50».



Рис.18. Запись взрыва на «деформации № 55».

Далее на рисунках с 19 по 24 представлены азимутальные спектры колебаний.

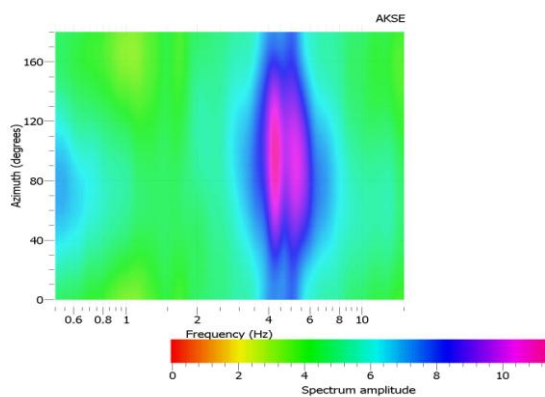


Рис.19. Спектрограмма записи акселерометром в ближней зоне

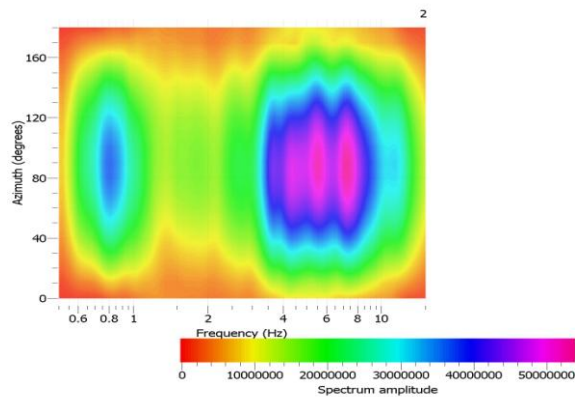


Рис.20. Спектрограмма записи взрыва на станции «Восточная»

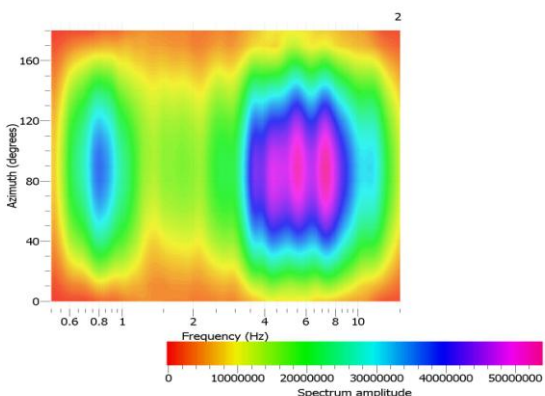


Рис.21. Спектрограмма записи взрыва на станции «Северная»

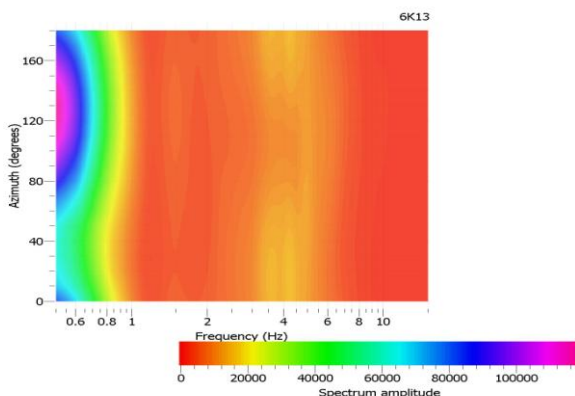


Рис.22. Спектрограмма записи взрыва на станции «Южная»

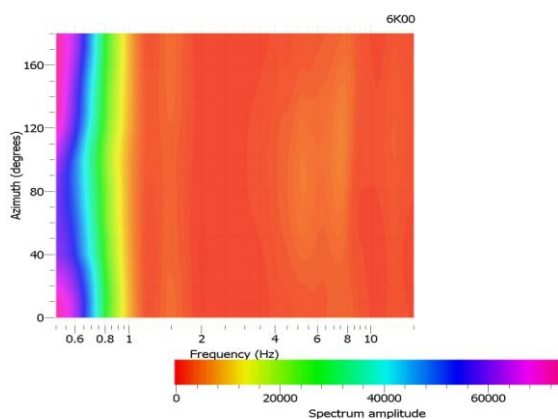


Рис.23. Спектрограмма записи взрыва на пункте Деформация 50

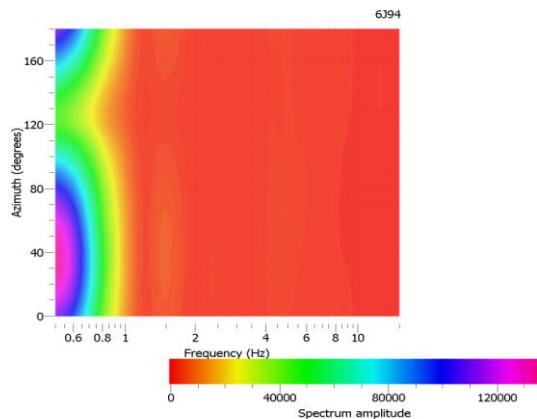


Рис.24. Спектрограмма записи взрыва на пункте Деформация 55

Они показали, что на пунктах регистрации «Восточная» и «Северная» пик спектра приходится на частоты 4-7,7 Гц, для пункта «Южный» - на 0,5 Гц, как и для пунктов «деформация 50» и «деформация 55». С учетом того, что для регистрации взрыва использованы идентичные приборы с однотипной амплитудно-частотной характеристикой каналов, можно сделать вывод о высокой степени разрыхленности пород или нарушенности связей между блоками пород на пунктах деф. 50, деф. 55 и южный.

Заключение. Инструментальные измерения уровня сейсмических воздействий показали следующее: интенсивность динамических воздействий на здания и сооружения зависит от направленности взрыва и массы взрывчатого вещества; динамическая нагрузка на борта карьеров при взрывах может достигать 10 мм/с; в ближней зоне взрыва значения ускорений достигают 58 см/с²; по спектру колебаний на бортах и бермах карьеров можно оценивать степень раздробленности пород; на оползневых телах и сильно раздробленных участках в спектре колебаний отсутствуют высокочастотные компоненты; промышленные взрывы кроме ударной волны и высокочастотных колебаний генерируют низкочастотные волны.

Работа выполнена в рамках хоздоговоров: №9/17 с НГМК «Оценка и мониторинг сейсмогеодинамического состояния зоны влияния карьера Мурунтау», №02-1010юр с АГМК «Оценка устойчивости бортов карьера «Кальмакыр», №68 с ОАО «Кувасайцемент» «Провести исследования по определению уровня сейсмического воздействия на жилые здания от взрывов в карьере».

Литература

1. M.Murphy at all. *Relationship between radiated seismic energy and explosive pressure for controlled methane and coal dust explosions in an underground mine. Tunnelling and Underground Space Technology. Volume 28, March 2012, Pages 278-286*
2. Vladimir Malbašić* and Lazar Stojanović. *Determination of Seismic Safety Zones during the Surface Mining Operation Development in the Case of the "Buvač" Open Pit. Minerals 2018, 8, 71;p.p.1-13.*
3. Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Ордынская А.П. и др. *Оценка повреждаемости зданий и сооружений по результатам сеймовзрывных и вибрационных испытаний опытных объектов / Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Ордынская А.П., Попова Л.П. // Геофизические исследования в Восточной Сибири на рубеже XXI века: Сб. науч. тр.- Новосибирск: Наука. Сиб. издат. фирма РАН, 1996. - С. 194-199.*
4. Адушкин В.В., Коротков А.И. *Параметры ударной волны вблизи от заряда ВВ при взрыве в воздухе // Прикладная механика и техническая физика. 1961. № 5. С. 119—123.*
5. Костюченко В. Н. *Статистика повреждений зданий при взрывных работах и вопросы сейсмической безопасности / В. Н. Костюченко // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – № 1, 1985. – С. 67–73.*
6. Штейнберг В.В и др. *Методы оценки сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 34. М., 1993. С. 5-94.*

Mundarija	sah.
Atabekov I.U. Kuchli zilzilaning zaif zilzilalarga ta'siri.....	3
Maksudov S.X., Abdullabekov K.N., Tuychiev A.I., Yusupov V.R. Geomagnetit maydonning yer qobig'i va yuqori mantiyaning turli chuqurliklaridagi jarayonlar bilan bog'liq variyatsiyalari.....	13
Khusomiddinov S.S., Starovatov A.A., Sadirov F.X. Seysmogen jarayonlarda tochma deformatsiyalar o'rni.....	29
Yusupov Sh.S., Shin L.Yu. Zilzilalarning gidrogeoseysmologik darakchilari.....	36
Aslanov B.S., Xuduzade A.I. Seysmologik va geologik-geofizik m'alumotlar asosida Janubi-Kaspiy provinsiyasi hamda Zagrosk surilmasiining geologik evolyutsiya davomidagi seysmo-geodinamik tub o'zgarishlari.....	41
Nurmatov U.A., Sodiqov Y.M., Yusupdjanova U.A. Turli masshtabdagi tektonik strukturalarda zilzilalarning makonda taqsimlanish xususiyatlari	48
Ismailov V.A. Muayyan ob'ektlarning seysmik riskini miqdoriy baholashning ilmiy-metodik asosi.....	54
Ibragimov A.X., Xamidov H.L., Yuldashev E.Sh., Mazhidov J.R. Sanoat portlatishlarining dinamik ta'siridan hosil bo'lgan seysmik to'lqinlarning kinematik elementlarini baholash	64

Содержание	стр.
Атабеков И.У. Иницирующее действие сильного землетрясения.....	3
Максудов С.Х., Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р. Вариации геомагнитного поля, обусловленные с разноглубинными процессами в земной коре и верхней мантии.....	13
Хусомиддинов С.С., Староватов А.А., Садиров Ф.Х. О роли приливных сил в сейсмогенных процессах.....	29
Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений.....	36
Асланов Б.С., Худузاده А.И. Сейсмо-геодинамические преобразования Южно-Каспийской провинции и Загорского надвига в пути геологической эволюции на основе сейсмологических и геолого-геофизических данных.....	41
Нурматов У.А., Садыков Ю.М., Юсупджанова У.А. Особенности пространственного распределения землетрясений в разномасштабных тектонических структурах.....	48
Исмаилов В.А. Научно-методические основы количественной оценки сейсмического риска точечных объектов.....	54
Ибрагимов А.Х., Хамидов Х.Л., Юлдашев Э.Ш., Маждидов Ж.Р. Оценка кинематических элементов сейсмических волн при динамических воздействиях промышленными взрывами.....	64

Content	page
Atabekov I.U. Initiating action of strong earthquake.....	3
Maksudov S.X., Abdullabekov K.N., Tuychiev A.I., Yusupov V.R. Variations of the geomagnetic field due to different-depth processes in the earth's crust and upper mantle.....	13
Khusomiddinov S.S., Starovatov A.A., Sadirov F.X. On the role of tidal forces in seismogenic processes.....	29
Yusupov Sh.S., Shin L.Yu. Hydrogeoseismological earthquake precursor.....	36
Aslanov B.S., Huduzade A.I. Seismo-geodynamic transformations of the Soyth-Caspian province and Zagorsk drops in the way of geological evolution based on seismological and geological-geophysical data.....	41
Nurmatov U.A., Sodiqov Y.M., Yusupdjanova U.A. Features of the distribution of earthquakes in tectonic structures of different sizes	48
Ismailov V.A. Scientific and methodical basis of quantitative assessment of seismic risk of point objects.....	54
Ibragimov A.X., Khamidov Kh.L., Yuldashev E.Sh., Mazhidov Zh.R. Assessment of the kinematic elements of seismic waves under dynamic impacts by industrial explosions.....	64

SEYSMOLOGIYA MUAMMOLARI

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМОЛОГИИ

SEISMOLOGY PROBLEMS

№ 2, 2019

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

Формат 80-64 1/8 Усл. печ.л. 3,9. Тираж 100 экз.

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