

**М.Ю. Нестеренко, О.А. Никонорова**  
M.U. Nesterenko, O.A. Nikonorova  
*Отдел геоэкологии Оренбургский научный центр УрО РАН*  
*Geocology Department Urals Branch RAS*

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИХ ВЛИЯНИЯ**  
**IDENTIFICATION OF NATURAL AND TECHNOGENIC FACTORS OF SEISMIC ACTIVITY AND MATHEMATICAL MODELING OF THEIR INFLUENCE**

**Аннотация.** В статье рассмотрена специфика влияния природных и техногенных факторов на сейсмичность в Оренбургской области и протестирована математическая модель для определения периодов повышенной сейсмической опасности с учетом одного из них.

**Abstract.** The article considers the specificity of natural and man-made factors on the seismicity in the Orenburg region and tested a mathematical model to determine the periods of high seismic danger taking into account of one of them.

В связи с интенсивной добычей полезных ископаемых в последние десятилетия возросла техногенная нагрузка на земную кору, что привело к повышению сейсмической активности в районах месторождений. В Южном Предуралье основное техногенное воздействие связано с добычей нефти и газа [1], в результате чего на значительной части территории сформировались зоны с повышенной природно-техногенной сейсмической активностью. Поэтому выявление природных и техногенных факторов, которые оказывают влияние на возникновение сейсмических событий на территории интенсивной эксплуатации месторождений углеводородного сырья, моделирование их влияния на сейсмическую активность и ее прогноз, является весьма актуальной задачей.

В последние годы в российской сейсмологии повысился интерес к проблеме слабой сейсмичности. В частности для изучения слабой сейсмичности Восточно-Европейской платформы созданы локальные сейсмические сети в Архангельской области, в районе Воронежского кристаллического массива, в Калининграде, Пермском крае и в Оренбургской области. Проводится мониторинг шахтной сейсмичности, для которого разработано множество методов и средств (А.А. Маловичко - Геофизическая служба РАН, Д.А. Маловичко, Р.А. Дягилев - Горный институт, УрО РАН) [2]. В институте динамики геосфер РАН В.В. Адушкин и С.Б. Турунтаев [3] исследуют техногенно-индуцированные процессы в земной коре. Исследования наведенной сейсмичности и сейсмичности разрабатываемых месторождений полезных ископаемых ведутся в Европе (St. Lasocky, Torild van Eck, Femke Goutbeek и др.) и в США (Scott D. Davis, Diane I. Doser и др.), а также в других странах.

Для изучения сейсмичности в Оренбургской области в 2005 году создана сеть сейсмостанций и проводятся исследования и анализ сейсмической активности Южного Предуралья. По данным о количестве зарегистрированных событий, эпицентры которых попадают в зоны вокруг разломов с разной шириной (табл. 1) получено, что плотность событий в разломной зоне шириной 5 км почти в два раза превышает плотность в 20 километровой зоне вокруг разлома и в четыре раза среднюю плотность во всем Оренбургском Предуралье. В связи с этим можно с достаточной долей уверенности утверждать, что эпицентры сейсмических событий тяготеют к зонам разломных структур. Это в свою очередь позволяет рассматривать зоны разломов в качестве природного фактора сейсмической активности Южного Предуралья.

Анализируя плотность зарегистрированных событий и выделившуюся сейсмическую энергию в районе месторождений углеводородов (табл.2) нетрудно заметить, что основная часть сейсмических событий располагается в районах интенсивно разрабатываемых месторождений углеводородов.

Территории, удаленные от зон техногенных нарушений (центральная и восточная части

Предуральского краевого прогиба, юго-восток Прикаспийской синеклизы и др.) имеют значительно меньшую частоту сейсмических событий и вероятно они вызваны естественными тектоническими процессами. События, произошедшие в зонах техногенных нарушений геологической среды (добыча нефти и газа) происходят более часто и имеют более сложную природу, и их, по-видимому, следует относить к техногенным или природно-техногенным.

Таблица 1  
Плотность зарегистрированных событий и выделившейся сейсмической энергии в зонах разломов

Окрестность разлома, км	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество событий	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./м <sup>2</sup>	Суммарная выделившаяся энергия, Дж	Плотность выделившейся энергии, Дж/ м <sup>2</sup>
5	3532,59	28	16,18	$7,9 \cdot 10^{-9}$	$7,47 \cdot 10^9$	$2,11 \cdot 10^6$
10	6976,14	49	28,32	$7,0 \cdot 10^{-9}$	$9,69 \cdot 10^{10}$	$1,38 \cdot 10^7$
15	10269,68	57	32,95	$5,6 \cdot 10^{-9}$	$9,74 \cdot 10^{10}$	$9,48 \cdot 10^6$
20	14280,29	67	38,73	$4,7 \cdot 10^{-9}$	$9,74 \cdot 10^{10}$	$6,82 \cdot 10^6$
Оренбургское Предуралье	66170,63	173	100	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$2,27 \cdot 10^{11}$	$3,43 \cdot 10^6$

Таблица 2  
Плотность зарегистрированных событий и выделившейся сейсмической энергии в районе месторождений углеводородов

Окрестность месторождения, км	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество событий	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./м <sup>2</sup>	Суммарная выделившаяся энергия, Дж	Плотность выделившейся энергии, Дж/ м <sup>2</sup>
5	40239,41	21	12,14	$5,2 \cdot 10^{-9}$	$5,80 \cdot 10^{10}$	$8,64 \cdot 10^6$
10	68412,93	32	18,50	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$7,49 \cdot 10^{10}$	$6,76 \cdot 10^6$
Оренбургское Предуралье	661706,25	173	100	$2,6 \cdot 10^{-9}$	$2,27 \cdot 10^{10}$	$3,43 \cdot 10^6$

Кроме того, учитывая, что при условии достижения критического уровня напряжений в области подготовки сейсмического события некоторые техногенные или природные процессы могут опосредованно инициировать землетрясение. Например, взрывы боеприпасов на Донгузском военном полигоне, проводимые с октября 2010 года, вызвали землетрясения магнитудой до 2 и увеличили фоновую сейсмичность на ОНГКМ в 2-3 раза (рис.1).

Кроме того, приливные напряжения могут создавать небольшую знакопеременную добавку к фоновому полю напряжений земной коры и либо усиливать, либо ослаблять развитие геодинамического процесса.

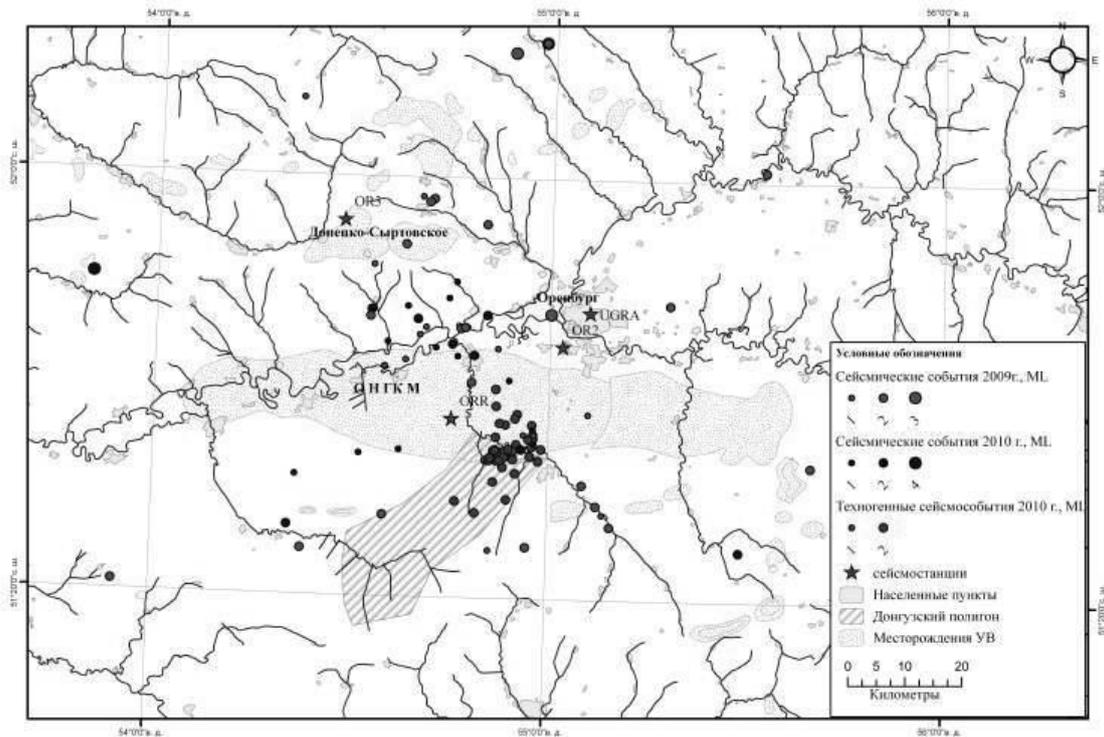


Рис.1. Карта-схема сейсмических событий Оренбуржья за 2009-2010гг.

Влияние приливных сил на сейсмичность Оренбургского Предуралья было оценено согласно модели, предложенной в работе [4]. А именно, для каждого природного сейсмического события в окрестности времени события  $\Omega_{t_i} = [t_i - 12; t_i + 11]$ , где  $t_i$  – час землетрясения от начала года, были рассчитаны нормированные и центрированные значения вертикальной компоненты приливообразующей силы, обозначенной на рис. 2 как  $y1$  и ее первой производной  $y2$ . Построена база данных «образцов сейсмических событий» для каталога землетрясений рассматриваемой географической области, которая частично представлена ниже (рис.2).

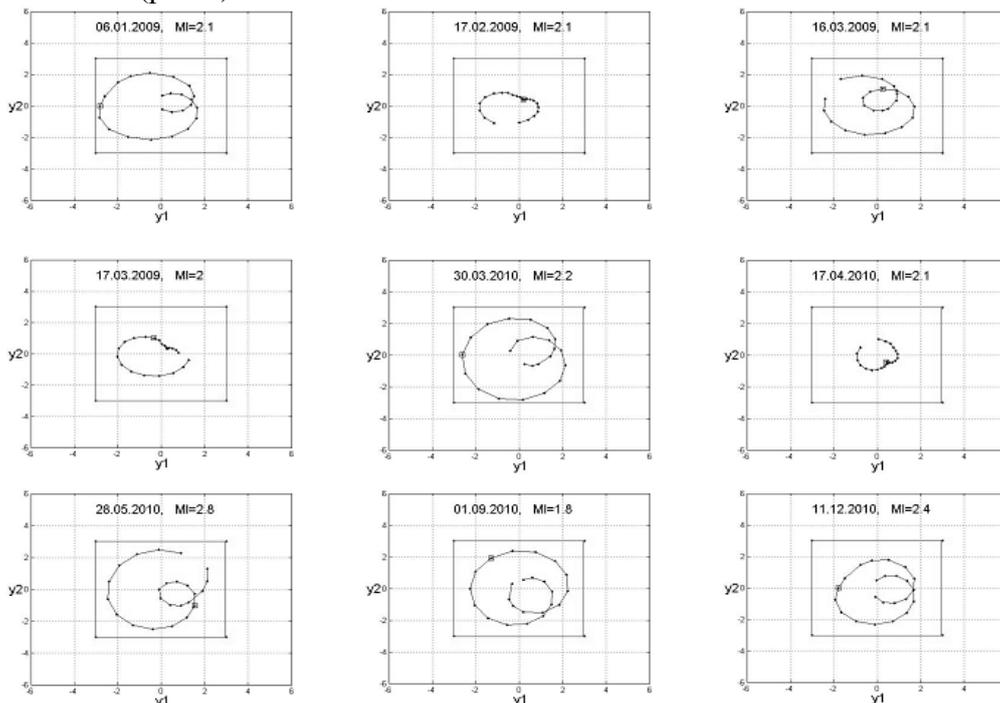


Рис.2. Образцы сейсмических событий с наибольшей локальной магнитудой, произошедших в 2009-2010гг.

Здесь представлены образцы сейсмических событий с наибольшей локальной магнитудой ( $ML \geq 2$ ), произошедших в 2009-2010 годах, маркером отмечен момент, в который произошло сейсмическое событие, обрамлением выделено окно, которое по определению «шаблона малой динамики» является «минимальным окном» вариаций приливных факторов.

Было замечено, что в координатах  $y1$ - $y2$  все образцы имеют небольшую амплитуду размаха фазового портрета (в диапазоне «минимального окна» от -3 до 3 в нормированной и центрированной системе координат) и 73% из них размещаются внутри «минимального окна» вариаций приливных факторов.

Это позволило протестировать динамическую модель [4] для определения периодов повышенной сейсмической опасности, основанной на сопоставлении функций, описывающих процесс изменения приливных факторов применительно к сейсмическим событиям Оренбургского Предуралья с размером «минимального окна».

Полученные результаты были оценены с позиций корреляционного анализа. То есть в качестве выборочных данных рассмотрено множество  $\Delta T = \{\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n\}$ , в котором

$\Delta t_i = (t_i^z - t_{j_{\min}}^{i\delta})$ ,  $j_{\min} = \arg\left(\min_j |t_i^z - t_j^{i\delta}|\right)$ , где  $T^{i\delta} = \{t_1^{i\delta}, t_2^{i\delta}, \dots, t_m^{i\delta}\}$  - моменты

повышенной сейсмической опасности, рассчитанные методом выделения «шаблонов малой динамики» приливных сил при фиксированных параметрах, а  $T^z = \{t_1^z, t_2^z, \dots, t_n^z\}$  - наблюдаемые моменты сейсмических событий в часах от начала исследуемого года.

Статистический анализ временных рядов для 2009-2010 гг. показывает, что для абсолютных отклонений  $\Delta T$  ожидаемое отклонение сейсмического события от ближайшего прогноза для метода определения «шаблонов малой динамики» приливных сил составляет в среднем  $\pm 6$  дней, с учетом среднеквадратического отклонения  $\pm 6$  дней (рис.3).

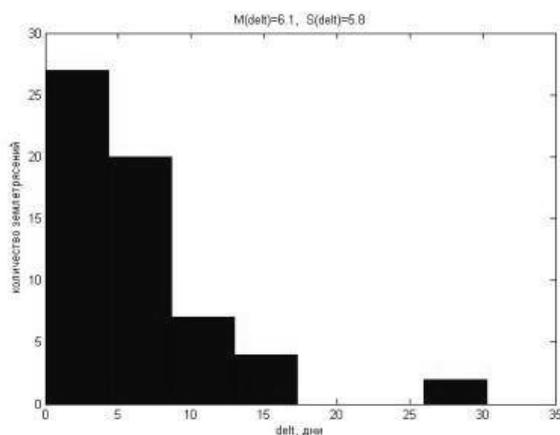


Рис.3. Гистограмма распределений абсолютных отклонений времени реального сейсмического события от прогнозного времени.

Близость статистической связи отражает усредненная интервальная корреляционная функция, отслеживающая связь между временем землетрясения, полученным по методу «шаблонов малой динамики» и временем реальных сейсмических событий за 2009-2010 годы, которая изображена на рисунке (рис.4).

Оказалось, что между временем реальных природных сейсмических событий, произошедших в районе интенсивной эксплуатации месторождений углеводородного сырья и «шаблонами малой динамики» приливных сил существует заметная статистическая связь.

Таким образом, к природным и техногенным факторам можно отнести зоны разломных структур, районы интенсивно разрабатываемых месторождений углеводородов и приливные вариации силы тяжести. Предложенный метод «шаблонов малой динамики» позволяет выявлять природные и техногенные факторы, оказывающее влияние на сейсмическую активность Южного Предуралья, что подтверждается построенной оценкой

интервальной корреляционной функции для природного фактора приливных сил.

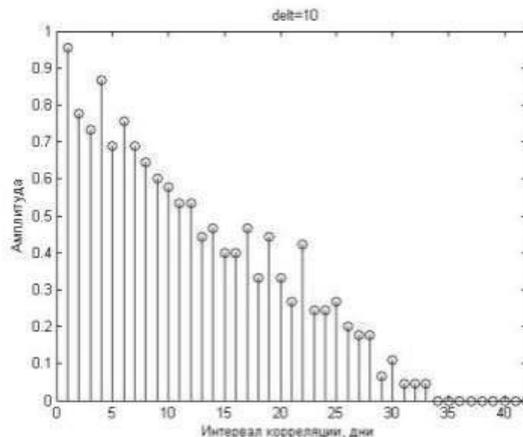


Рис.4. Оценка интервальной корреляционной функции.

Первые оценки формального использования динамической модели определения периодов повышенной сейсмической опасности представляются обнадеживающими и возможно ее применение для выявления и использования значимых техногенных факторов для определения периодов сейсмической опасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко Ю.М., Косолапов О.В., Нестеренко М.Ю. Сейсмическая активность районов разрабатываемых месторождений углеводородов в Южном Предуралье // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-5. С. 1240-1244.
2. Маловичко А.А., Маловичко Д.А., Дягилев Р.А. Сейсмологический мониторинг на рудниках верхнекамского месторождения калийных солей // Горный журнал. 2008. № 10. С. 25-29.
3. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы) – М.: ИДГ РАН, 2005. 252 с.
4. Коварцев А.Н., Никонорова О.А. Динамическая модель определения периодов повышенной сейсмической опасности // В мире научных открытий. 2010. № 4-9. С. 156-158.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 11-05-97024-р\_поволжье\_а.