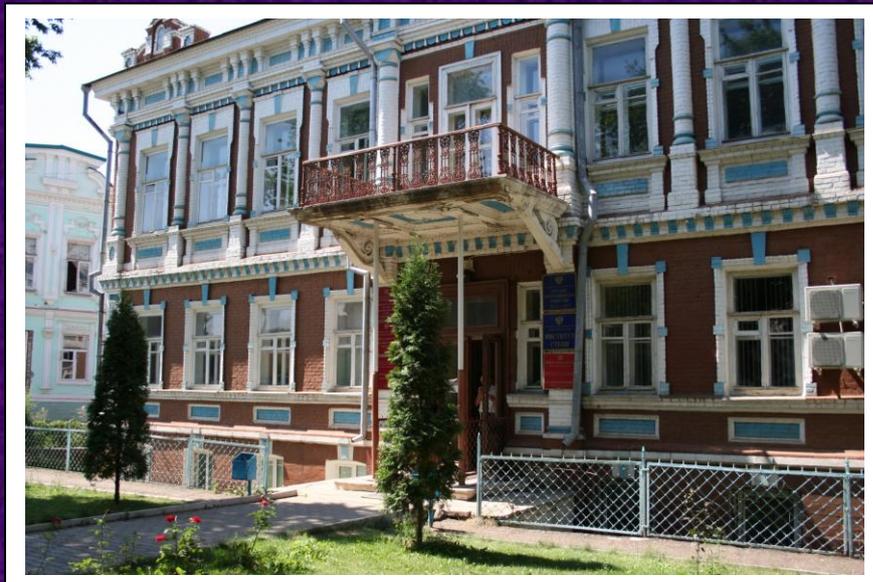


ISSN 2304-9081

**Учредители:**  
Уральское отделение РАН  
Оренбургский научный центр УрО РАН

**Бюллетень**  
**Оренбургского научного центра**  
**УрО РАН**  
(электронный журнал)



**2012 \* № 1**

On-line версия журнала на сайте  
<http://www.elmag.uran.ru>

© М.Ю. Нестеренко, А.В. Бухвалова, 2012

УДК 550.348

*М.Ю. Нестеренко, А.В. Бухвалова*

## **МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ СЕЙСМОГРАММ СЕТИ СЕЙСМОСТАНЦИЙ В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗДОБЫЧИ**

Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН, Оренбург, Россия

*Цель.* Разработка математического аппарата и программного средства для выявления (распознавания) слабоэнергетических сейсмических событий на основе оценки взаимосвязи временных рядов скоростей смещений грунта на примере сети сейсмостанций Оренбургской области. *Материалы и методы.* При изучении техногенной сейсмичности значимыми являются слабоэнергетические сейсмические события, выявление и обработка которых основываются на сопоставлении и анализе сейсмограмм различных сейсмостанций. *Результаты.* В связи с этим разработаны математический аппарат распознавания сейсмических событий и процедура анализа фрагментов сейсмограмм. Спроектировано и разработано программное средство для выявления слабоэнергетических сейсмических событий. *Заключение.* Предложенный подход анализа и обработки сейсмограмм сети сейсмостанций позволяет значительно повысить эффективность их обработки и повысить чувствительность сети.

*Ключевые слова:* сейсмика, техногенная сейсмичность, природная сейсмичность, обработка сейсмограмм, геодинамика месторождений углеводородов.

*M.Yu. Nesterenko, A.V. Bukhvalova*

## **METHOD OF TREATMENT NETWORK SEISMOGRAMS SEISMIC STATION IN VICINITY OIL AND GAS DEVELOPMENT**

Department of Geocology of Orenburg Scientific Centre UrB RAS, Orenburg, Russia

*Objective.* Development of mathematical tools and software for the detection (recognition) weak energy seismic events based on the evaluation of the time series of the displacement velocity of soil on the example of a network of seismic stations in Orenburg region. *Materials and methods.* In the study of technogenic seismicity are significant weak energy seismic events, the identification and treatment of which are based on the comparison and analysis of the various seismic seismograms. *Results.* Because with this developed mathematical apparatus of recognition of seismic events and the procedure fragment analysis of seismograms. Designed and developed a software tool for identifying weak energy seismic events. *Conclusions.* The proposed approach is the analysis and processing of seismograms network of seismic stations can significantly increase the efficiency of data processing and the sensitivity network.

*Key words:* seismic, technogenic seismicity, natural seismicity, the processing of seismograms, geodynamics of hydrocarbon.

### **Введение.**

Оренбургская область по сейсмическому районированию России отнесена к возможной по геологическим условиям 6–7-бальной зоне природных землетрясений. Территория нефтегазоносного Оренбуржья (западная и центральная

части Оренбургской области) имеет высокий уровень естественных напряжений в земной коре, что следует учитывать при разработке месторождений нефти и газа и других техногенных вмешательствах в геологическую среду.

Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН совместно с ООО «Газпром добыча Оренбург» и Главным управлением МЧС России по Оренбургской области с 2005 г. ведет сейсмологический мониторинг юго-западной части Оренбургской области в настоящее время пятью сейсмическими станциями.

В год сетью фиксируется около 180 сейсмических событий различной природы [1]. Обработка сейсмологических данных «в ручном режиме» сложна и трудоемка, и ряд сейсмических событий не выявляется оператором в связи с их слабой энергетикой и сильной «зашумленностью» станций. В связи с этим необходима автоматизация выявления сейсмических событий, которая позволит также повысить чувствительность сейсмологической сети [2].

Большинство существующих методик ручной обработки и программных средств для автоматизированной обработки сейсмограмм предназначено для выявления и обработки сильных сейсмических событий с магнитудой  $M > 3$ . Однако при изучении «техногенной» сейсмичности значимыми являются слабые сейсмические события, выявление и обработка которых основываются на подборе фильтра и сопоставлении сейсмограмм различных сейсмостанций. Данный процесс может быть автоматизирован на основе компьютерного анализа статистической связи близких во времени участков сейсмограмм различных сейсмостанций и каналов.

### **Принципы выявления слабых сейсмических событий.**

Как известно [3], существуют продольные и поперечные сейсмические волны. В земной коре на территории Южного Предуралья скорость их распространения приблизительно равна: у продольной -  $V_p \approx 4 \text{ км/с}$ , у поперечной -  $V_s \approx 2,5 \text{ км/с}$ .

Сейсмическое событие, происходящее на территории региона, регистрируются сейсмостанциями сети в виде волновых форм, которые имеют статистическую связь. В общем случае расстояние от эпицентра сейсмического события до сейсмических станций различается, следовательно, время прихода волн на разные станции различно. Разница во времени прихода волны (временной лаг)

на две различные сейсмические станции может быть оценена величиной  $\Delta t = \frac{\Delta s}{v}$ , где  $\Delta s$  - разница эпицентральных расстояний на двух сейсмических станциях,  $v$  - скорость сейсмической волны. Следовательно, корреляция между амплитудами скоростей смещения должна наблюдаться с соответствующей задержкой  $\Delta t$  (рис.1, 2).

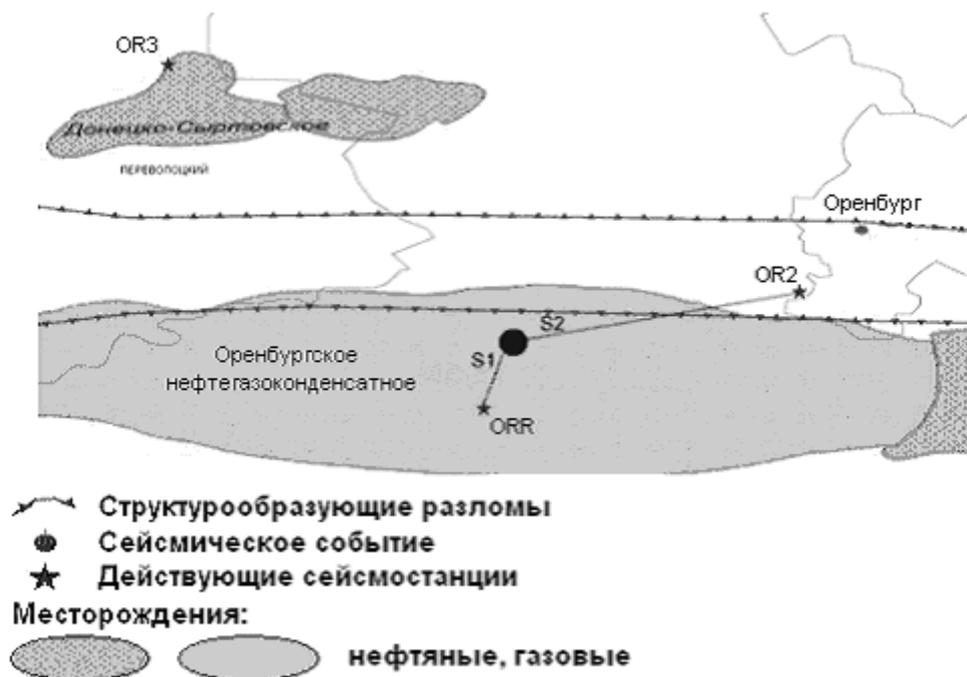


Рис. 1. Расположение сейсмических станций сети «Газ-сейсмика».

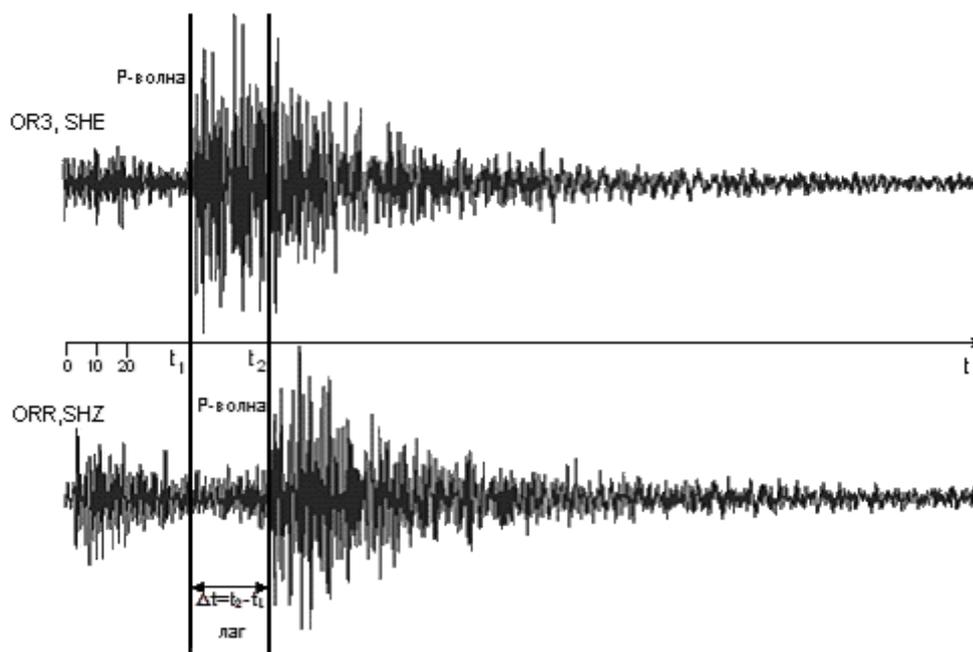


Рис. 2. Временная задержка (лаг) в наступлении события.

Расстояния между станциями существующей сети «Газ-сейсмика» составляют 30-60 километров, что обуславливает разницу во времени регистрации

продольной (р-волны) сейсмического события до 15 секунд, а поперечной (s-волны) – до 25 секунд.

Корреляционный анализ с учетом временного лага может быть выполнен по данным о скоростях смещения грунта, по спектру волновых форм любых сейсмических станций одного события и по отфильтрованным данным.

**Выбор методов выявления взаимосвязи рядов скоростей смещения грунта.** Для выявления взаимосвязи скоростей смещений грунта, зарегистрированных различными сейсмостанциями, возможно применение анализа временных рядов. Использование методов анализа временных рядов с учетом лага основано на расчете коэффициентов корреляции с учетом лага [1, 4].

В качестве переменной временного ряда принимаем скорость смещения грунта, зарегистрированную каналом на сейсмостанции в течение определенно-го промежутка (отсчета) времени или амплитуду спектра.

Процедура распознавания слабых сейсмических событий с помощью программного средства состоит из четырех шагов:

- подготовка и выгрузка данных о скоростях смещения грунта и спектрограммах;
- анализ сейсмограмм двух каналов сейсмостанций и оценка временной задержки вступления волн сейсмического события;
- анализ спектрограмм двух каналов сейсмостанций и выявление тесноты связи спектров;
- сопоставление полученных результатов и идентификация события согласно статистики.

Для решения поставленной оптимизационной задачи необходимо рассчитать серию коэффициентов корреляции временных рядов с возрастающим лагом. Максимальный лаг при расчете коэффициентов корреляции составляет одну треть длины временных рядов, в противном случае рассчитанные показатели будут ненадежными.

В результате проведения анализа строится графическое изображение вектора коэффициентов корреляции называемое коррелограммой. Анализ такого графика, отражающего зависимость коэффициентов корреляции от лага для спектра зарегистрированных сейсмических волн на двух каналах сейсмостанций, указывает на снижение тесноты связи с увеличением лага.

Анализ сейсмограмм, выявил два вида коррелограмм:

– коэффициенты до некоторого значения лага растут, а затем убывают до незначимо отличных от нуля величин, тогда лаг считается равным тому сдвигу, при котором коэффициент корреляции по модулю максимален. Данный вид корреляции характерен для анализа спектра.

– коэффициенты поочередно растут и убывают, образуя циклы или квазициклы.

При проведении анализа сейсмограмм сейсмических событий было выявлено, что коррелограмма, в основном, принимает второй вид.

### **Апробация математической модели и программного средства.**

В таблице 1 приведен фрагмент набора данных для проверки корректности распознавания сейсмических событий разработанным нами программным средством.

Таблица 1. Проверка адекватности модели распознавания сейсмических событий с помощью программного средства

Фрагмент сейсмограммы	Результаты анализа					
	волновых форм			спектра		
	макс. коэф. кор.	лаг		макс. коэф. кор.	лаг	
в от-счет.		в сек.	в от-счет.		частота, Гц	
Взрыв, произошедший в марте 2011 года	0,258	105	2,1	0,58	11	0,8
Взрыв, произошедший 15 октября 2010 года	0,22	46	2,3	0,5	13	0,52
Взрыв, произошедший 6 марта 2012 года	0,283	117	2,34	0,58	7	0,5
Взрыв, произошедший 11 марта 2012 года	0,272	102	2,04	0,68	0	0
Местное событие, произошедшее марте 2011 года	0,37	135	2,7	0,8	1	0,07
Местное событие, произошедшее 1 октября 2010 года	0,27	11	0,55	0,55	5	0,2
Местное событие, произошедшее 5 октября 2010 года	0,33	30	1,5	0,58	1	0,04
Местное событие, произошедшее 15 октября 2010 года	0,22	45	2,25	0,7	0	0
Местное событие, произошедшее 4 мая 2012 года	0,262	107	2,14	0,8	2	0,14
Телесеismicкое событие, произошедшее на территории Казахстана 30 мая 2012 года	0,43	138	2,76	0,55	11	0,94
Региональное событие, произошедшее на территории Башкирии	0,38	114	2,28	0,74	5	0,18
Первый участок шума	0,824	2	0,04	0,4	13	0,98
Второй участок шума	0,74	0	0	0,4	0	0

На основе полученной статистики показателей сейсмических событий разного типа приведена их классификация по оцениваемым показателям: коэффициенту корреляции и лагу (табл. 2).

Таблица 2. Классификация сейсмических событий по оцениваемым параметрам

Входные данные	Результат анализа							
	волн. форм				спектра			
	коэф. кор.		лаг, сек.		коэф. кор.		лаг, сек.	
	от	до	от	до	от	до	от	до
Взрывы	0,2	0,35	2	3	0,5	0,7	0,02	0,18
Местные события	0,21	0,4	2	3	0,7	0,8	0	0,05
Региональные события	0,28	0,38	2	3	0,66	0,74	0	0,05
Телесейсмические события	0,35	0,5	2	3	0,5	0,6	0,2	0,5
Шум	0,7	0,83	0	0,02	0,25	0,4	0	0,26

Анализируя данные таблицы 2, можно сделать вывод, что отличительной особенностью всех сейсмических событий являются лаг, равный 2-3 сек, соответствующий времени прохождения продольной сейсмической волны расстояния между станциями, и высокая корреляция спектра.

### **Когерентно-временной анализ сейсмограмм сети сеймостанций.**

В работах (Юдахина Ф.Н. с соавт., 2008) показано, что спектральный и когерентный анализ позволяет выделить сигналы соответствующих источников сейсмических волн в Приморском районе Архангельской области [5]. Так же можно использовать функцию когерентности, чтобы идентифицировать шум, источники помех, влияющие на выходной сигнал. Спектральный анализ необходим, чтобы оценить силу связи амплитуды колебаний на разных частотах. Функция когерентности практически является коэффициентом корреляции для каждой частотной составляющей.

Функция когерентности скоростей смещения грунта рассчитывается по формуле 4 [5]:

$$k(f) = \frac{|S_{xy}(f)|}{\sqrt{S_{xx}(f) \cdot S_{yy}(f)}} \quad (1)$$

где  $k(f)$  - коэффициент когерентности;

$S_{xx}(f), S_{yy}(f)$  - оценки спектральной плотности, полученные путем быстрого

Фурье преобразования сглаженных корреляционных функций;

$|S_{xy}(f)|$  - взаимный осредненный спектр;

$x$  - скорость смещения грунта, зарегистрированная датчиком 1;

$y$  - скорость смещения грунта, зарегистрированная датчиком 2.

Преобразования Фурье трансформируют функции времени в функции частоты, содержащие информацию об амплитуде и фазе. Для каждого выбранного отрезка Z-, X- и Y-компонент записи  $U_z(t), U_x(t), U_y(t)$  одновременно с вводом данных рассчитываются нормированные функции – автокорреляционной и взаимной корреляции:

$$C_{i,j} = \frac{1}{\sigma_i \cdot \sigma_j \cdot N} \sum_{n=1}^{N-\tau} (U_{i,n} - \bar{U}_i)(U_{j,n+\tau} - \bar{U}_j) \quad (2)$$

$$\bar{U}_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N U_{i,n}, \quad (3)$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (U_{i,n} - \bar{U}_i)^2, \quad (4)$$

где  $i, j = X, Y, Z; N$  - число анализируемых точек.

В результате проведенных расчетов строятся когерентно-временные (КВАН) диаграммы.

КВАН диаграммы в условиях Оренбургской сейсмологической сети позволяют выявлять сейсмические события с мощностью сигнала меньше фона.

### **Заключение.**

Разработаны математический аппарат распознавания сейсмических событий и процедура анализа фрагментов сейсмограмм, спроектировано и разработано программное средство для выявления слабознергетических сейсмических событий.

Предложена методика определения типа сейсмического события. В результате апробации методики и программного средства корректно распознано большинство сейсмических событий, что является значимым научно практическим результатом.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Нестеренко М.Ю. Влияние добычи полезных ископаемых на геогидродинамику и сейсмичность в Южном Предуралье. Матер. XV Всерос. конф. «Геологические опасности».

- Архальгельск: ББС МГУ, 2009: 333-335.
2. Нестеренко М.Ю., Бухвалова А.В., Пелагеин А.А. Распознавание слабоэнергетических сейсмических событий при изучении техногенной сейсмичности. Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки», 2012. 2 (34): 75-81.
  3. Кондорская Н.В., Аранович З.И., Соловьева О.Н. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР. М.: Институт физики Земли АН СССР, 1981. 137 с.
  4. Бокс, Дж. Анализ временных рядов: Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. М.: Мир, 1974. – 324с.
  5. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Шахова. Е.В. Исследование активности платформенных территорий с использованием микросейсм. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 129с.

*Поступила 06.02.2012*

*(Контактная информация: **Нестеренко Максим Юрьевич** – ведущий научный сотрудник Отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН; E-mail: [geoecol-onc@mail.ru](mailto:geoecol-onc@mail.ru); адрес: Россия, 460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29)*