

## СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАЙОНОВ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЮЖНОМ ПРЕДУРАЛЬЕ

© 2010 Ю.М. Нестеренко<sup>1</sup>, О.В. Косолапов<sup>2</sup>, М.Ю. Нестеренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН

<sup>2</sup> Управление по недропользованию Оренбургской области

Поступила в редакцию 30.04.2010

При разработке нефтяных и газовых месторождений неизбежно снижение пластового давления и изменение уровня пластовых вод. Выявлена взаимосвязь техногенных изменений земной коры с сейсмической активностью и гидрогеодинамикой. Представлены результаты сейсмологического мониторинга сетью сеймостанций «Оренбург». Проведен анализ и сопоставление очагов сейсмических событий с сетью тектонических разломов и нарушений и предложена методика сейсмического районирования территории Южного Предуралья.

Ключевые слова: *сейсмическая активность, нефтяные и газовые месторождения, мониторинг*

В Южном Предуралье около 40 лет интенсивно эксплуатируется крупнейшее в Европе газоконденсатное месторождение и множество крупных и мелких месторождений нефти. Высокая плотность месторождений на площади 85 000 км<sup>2</sup> в степной зоне с развитым сельским хозяйством и интенсивная их разработка обуславливают формирование соответствующей многоотраслевой экономики. Инфраструктура добычи, транспортировки и переработки углеводородов часто находится среди сельскохозяйственных угодьев и вблизи населенных пунктов, что повышает требования к экологической безопасности. В связи с маловодностью речная сеть региона имеет повышенную чувствительность к техногенному загрязнению. Южное Предуралье находится на стыке трех геологических структур – Волго-Уральской антеклизы, Прикаспийской синеклизы и Предуральского краевого прогиба и имеет густую сеть тектонических разломов. Совокупность природных и хозяйственных особенностей требует соответствующих адаптированных решений экологических и экономических проблем региона, а также обуславливает ряд особенностей эксплуатации месторождений нефти и газа.

Добыче полезных ископаемых в недрах Земли, их транспортировке и переработке сопутствует воздействие на экологическое состояние недр, гидросферы, атмосферы и земной поверхности. За изменениями в них необходимо вести наблюдения. В настоящее время в Оренбуржье на основных месторождениях газа и нефти ведется мониторинг поверхностных вод, атмосферы и

земной поверхности. Разработаны методики его ведения и технологии устранения их загрязнения при разработке месторождений. Техногенные изменения в недрах обычно протекают замедленно и, как правило, имеют отдаленные последствия и трудно устранимы. Шахты после добычи твердых полезных ископаемых остаются незаполненными многие десятилетия. При добыче нефти и газа постепенно уменьшается давление в продуктивных пластах и окружающих их водоносных горизонтах. Изменения в гидро- и газодинамике обуславливают соответствующие изменения в геодинамике твердой части земной коры, что часто ведет к землетрясениям. Вероятно по причине замедленности техногенных изменений в земной коре при добыче полезных ископаемых они мало исследованы, и их мониторинг недостаточно организован, несмотря на то, что последствия техногенных изменений в земной коре могут привести к крупнейшим техногенным катастрофам и чрезвычайным ситуациям: землетрясениям, провалам земной поверхности, изменениям в балансе и качестве подземных вод зоны активного водообмена, являющихся основным источником водных ресурсов для меженного речного стока и водоснабжения.

Масштабы техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций во многом зависят от объемов недр и площадей, на которые оказываются техногенные воздействия при добыче полезных ископаемых, и их силы. В шахтах формируются изменения в давлениях подземных вод и напряженностей в горных породах в объемах и на площадях до нескольких десятков кубических и квадратных километров. Соответственно и реакция недр на техногенное вмешательство обычно происходит в пределах этих объемов и площадей: горные удары, прорывы в шахты подземных вод и газов из прилегающих горных

*Нестеренко Юрий Михайлович, доктор географических наук, заведующий. E-mail: geocol-onc@mail.ru*

*Косолапов Олег Вениаминович, кандидат экономических наук, директор*

*Нестеренко Максим Юрьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*

массивов. Лишь сейсмические волны, сопровождающие упругое расширение массива пород при горном ударе большой силы, распространяются на десятки и сотни километров.

При добыче нефти и газа техногенезом охватываются объемы недр до нескольких тысяч кубических километров и на площадях в тысячи квадратных километров. В Южном Предуралье оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) занимает площадь около 2500 км<sup>2</sup>, а уменьшение давлений в пластовых водах в результате 30-летней добычи газа произошло на площади более 3000 км<sup>2</sup>. В центральной части месторождения при уменьшении давления газа более, чем на 10 МПа, некомпенсированное напряжение в выше и ниже расположенных горных породах составляет соответственно порядка 1000 т/м<sup>2</sup>. Примерно на эту же величину увеличиваются градиенты давления между пластовыми водами месторождения и прилегающими к ним водоносными комплексами. Крупномасштабные техногенные изменения в недрах ОНГКМ привели к повышению суммарной выделившейся сейсмической энергии за год до  $8,14 \times 10^{10}$  Дж в центральной его части с  $1,78 \times 10^7$  Дж на прилегающих к нему территориях в расчете на 1000 км<sup>2</sup> (рис. 3)

Аналогичные техногенные изменения наблюдаются на больших площадях при добыче нефти на месторождениях в Бузулукской впадине [1, 2]. На группе месторождений в районе г. Сорочинска давление пластовых вод уменьшилось почти на 10-12 МПа на нескольких сотнях квадратных километров. Расположенные на расстоянии 140-150 км от них существующие сейсмические станции (для мониторинга оптимальные расстояния не более 50-60 км) в первой половине 2009 г. зафиксировано в этом районе 12 сейсмических событий с магнитудой до 2,5 единиц и выделением суммарной энергии до  $3,5 \times 10^{10}$  Дж, что близко к количеству выделившейся энергии за весь 2008 г. Из-за удаленности нами фиксировались лишь события с магнитудой более единицы. По-видимому, сейсмических событий произошло больше.

Весь разрабатываемый нефтегазоносный регион с множеством крупных и мелких разрабатываемых месторождений имеет повышенную сейсмичность в сравнении с юго-восточной частью Южного Предуралья, где они не разрабатываются.

Природная и техногенная сейсмичность во многом зависят от геологического строения земной коры. В геоструктурном отношении Южное Предуралье относится к юго-восточной окраине Восточно-Европейской платформы и соседствует с Прикаспийской синеклизой на юге и Предуральским краевым прогибом на востоке. Эта древняя геоструктура прошла сложный и длительный процесс развития, в результате

которого сформировались структуры кристаллического фундамента и осадочного чехла. Складчатость осадочного чехла является следствием колебательных тектонических движений, возникающих в кристаллическом фундаменте. Формирование и развитие геологических и тектонических структур Южного Предуралья идет под воздействием планетарных горизонтальных, вертикальных и вращательных движений блоков литосферы, создающих напряжения сжатия и растяжения различной силы в разных направлениях. Литосферная плита в результате вращательно-поступательного движения и воздействия внешних сил дробится на крупные блоки (платформы и горноскладчатые пояса), которые, взаимодействуя между собой, делятся на более мелкие блоки, образуются положительные и отрицательные структуры. Идет ступенчатое погружение блоков кристаллического фундамента в сторону Прикаспийской синеклизы. Сейсмические события этих геодинамических процессов проявляются на всей территории Южного Предуралья, Уральских гор и Зауралья. По этим причинам территория Оренбуржья согласно карте общего сейсмического районирования России ОСР-97 имеет возможные природные землетрясения интенсивностью 6-7 баллов по шкале МСК-64. Существенным фактором формирования блоково-разломной структуры массивов горных пород является планетарная трещиноватость, образовавшую сложную много-размерную сетку. Эта сетка является основой, на которую накладываются эндогенные и экзогенные процессы дальнейшего развития структур земной коры и рельефа. В связи с этим Южное Предуралье выделяется нами как территория с высоким уровнем естественных напряжений в земной коре. Она расчленена разломами субширотного и субмеридиального простирания, вдоль которых нами фиксируется высокая плотность сейсмических событий природного и техногенного происхождения (рис. 1). Зоны планетарно-тектонической трещиноватости и тектонических трещин региона относятся к потенциально опасным в сейсмическом отношении [3].

Усиливающаяся техногенная нагрузка на геологическую среду все более обостряет проблемы экологической безопасности. Согласно существующим представлениям [4] техногенная сейсмичность аналогична природной, но отличается от нее режимом выделения сейсмической энергии под влиянием техногенных факторов. Для нее характерно большее число предшествующих толчков, более медленное убывание афтершоков и неглубокие очаги. Основные техногенные воздействия на геологическую среду происходят на относительно небольших глубинах (до 10 км) (рис. 2) и в процессах формирования напряженно-деформационного состояния и подготовки землетрясения существенную роль

играют подземные воды и состояние геогидросистемы. Подземные воды перераспределяют напряжения в геологической среде в техногенно измененных условиях. В геологических структурах,

где происходят значительные изменения их давлений, техногенные нарушения приводят к локальной концентрации напряжений и повышению сейсмической опасности.

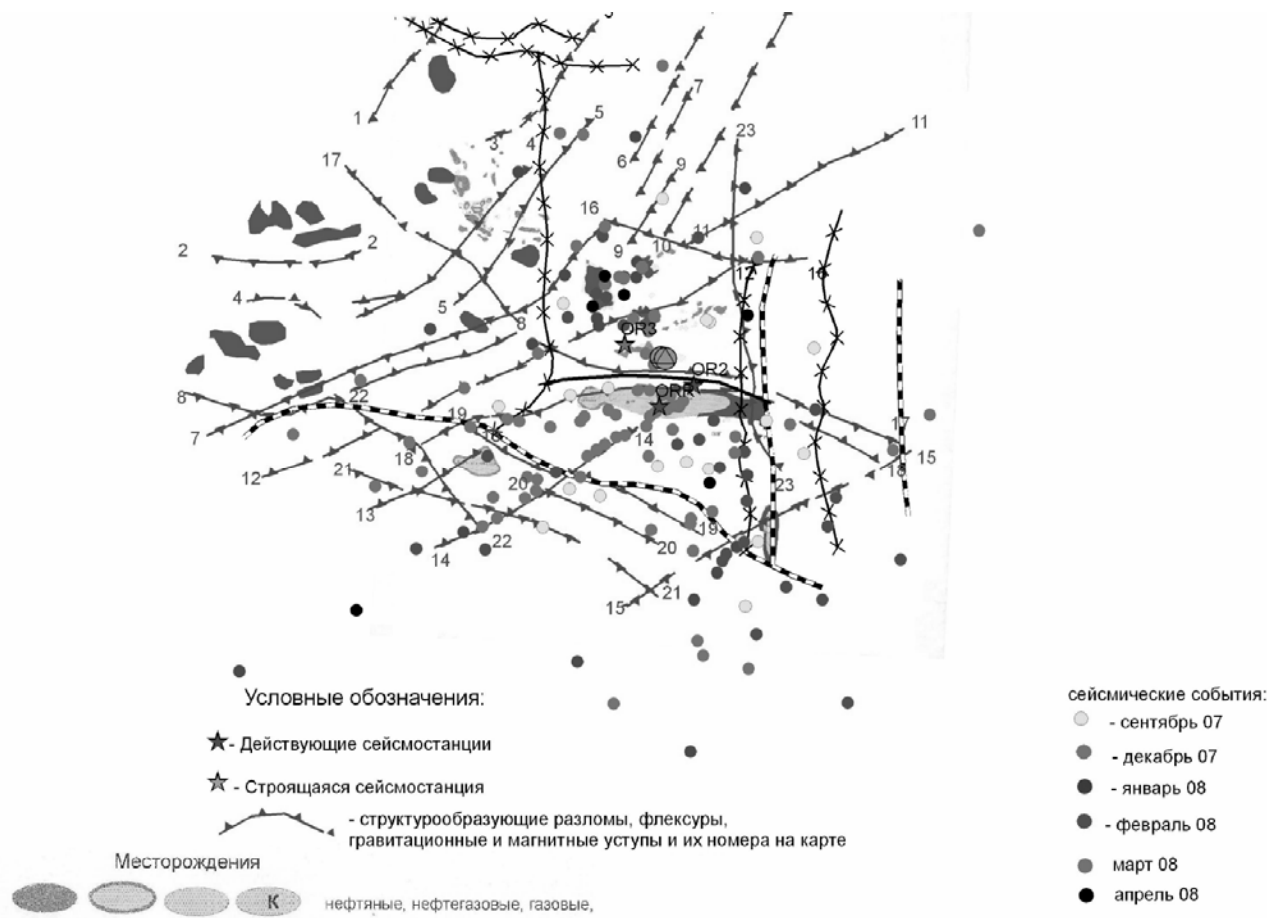


Рис. 1. Простирание линеаментов, разломов, гравитационных и магнитных уступов и сейсмические события в Южном Предуралье

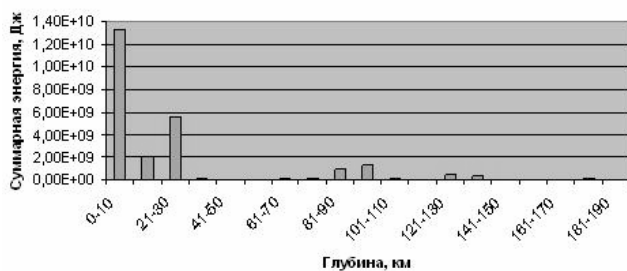


Рис. 2. Распределение землетрясений по глубинам на территории Оренбургской области за 2008-2009 гг.

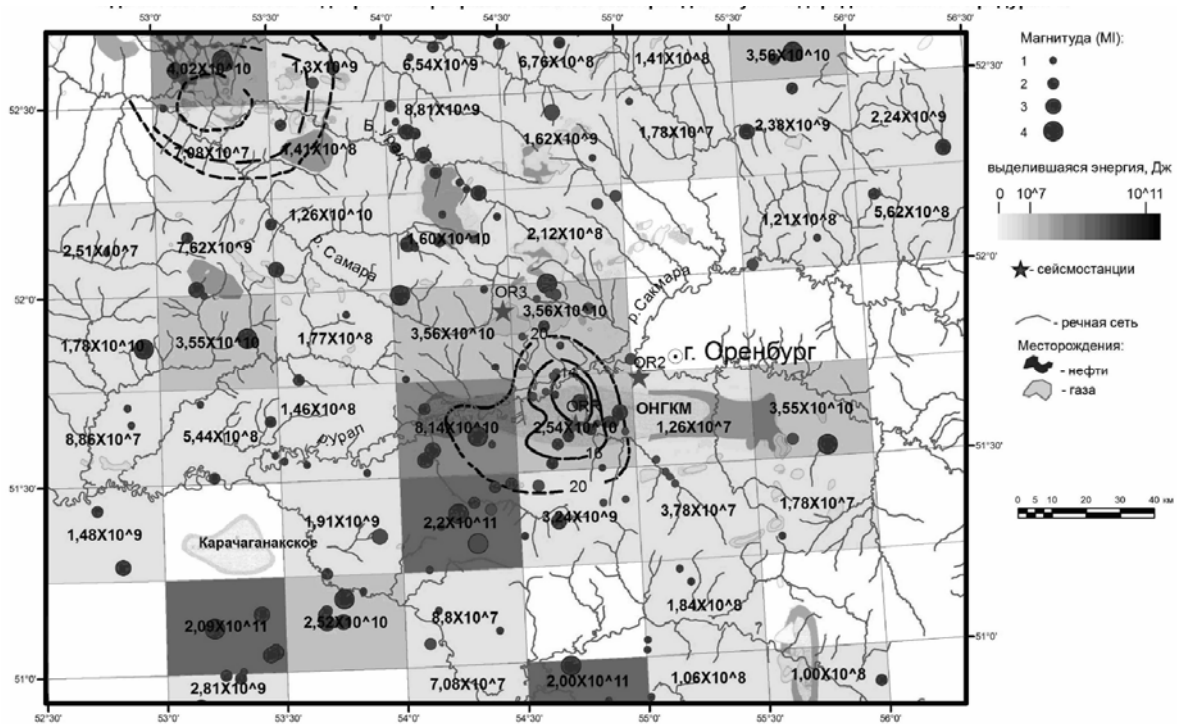
Отделом геоэкологии ОНЦ УрО РАН выявлено сгущение сейсмических событий на территориях интенсивной добычи углеводородов при уменьшении пластовых давлений газа, нефти и подземных вод (рис. 3). Они имеют высокую корреляцию с техногенно-нарушенными блоками массивов горных пород. Выявлена высокая сейсмическая активность на участках, где пластовое давление снизилось в результате

добычи нефти и газа (рис. 3) в сравнении с прилегающими территориями. Формирование водонапорных систем месторождений шло в течение нескольких десятков миллионов лет с весьма медленным водообменном. Относительно высокая скорость выработки основных запасов углеводородов (несколько десятков лет) обусловила быстрое нарушение равновесия в водонапорной системе и соответствующие изменения напряжений в скелете коллекторной толщи.

Существующая сеть сейсмостанций в Оренбуржье создана для мониторинга сейсмической активности центральной части области. Система сейсмического мониторинга «Оренбург», которая зарегистрирована и вошла в общероссийскую сеть, позволяет фиксировать местные, региональные и удаленные сейсмические события. Местные землетрясения – события в радиусе до 200 км от сейсмоприемников, вызванные природными или техногенными причинами. За первое полугодие 2009 г. в среднем за месяц таких событий зарегистрировано 14, что в сравнении с 2005 – 2008 гг. (11, 7, 8 и 16 соот-

ветственно) показывает на нестабильность количества локальных событий в районе месторождений углеводородов (рис. 3). Средняя магнитуда в первой половине 2009 г. составила 1,4. На долю локальных и региональных событий приходится около 20% от общего количества

зафиксированных сейсмических событий. Среди локальных сейсмических событий наблюдались события значительной силы. Такие события встречаются в среднем раз в три месяца преимущественно по разломам в районах добычи углеводородов.



**Рис. 3.** Эпицентры сейсмических событий (1.12.2007г. – 20.10.2009 г.), структурообразующие разломы и давления пластовых вод в районах разрабатываемых месторождений углеводородов в Южном Предуралье

Анализ зарегистрированных в Южном Предуралье сейсмических событий указывает на неравномерное проявление сейсмических событий во времени. Такая неравномерность, возможно, связана с антропогенным воздействием на земную кору и изменениями в режиме добычи полезных ископаемых на исследуемой территории. На рис. 4 представлено событие в Переволоцком районе, произошедшее на нефтяном месторождении 23.12.2008 г., время в очаге 20 час. 56мин. 13сек., широта 52,182, долгота 54,376, магнитуда ML 1.7, глубина 5 км.

Аналогичные процессы наблюдаются в геологической среде и в соседних регионах со схожими геологическими условиями и техногенными изменениями. В Татарстане и Башкортостане с более длительной эксплуатацией месторождений нефти в последние годы произошли землетрясения с магнитудой 4 и более.

Дальнейший сейсмический мониторинг и его развитие позволят выявить характер сейсмических событий и установить участки с наибольшими их количеством, т.е. ранжировать территорию по этим показателям. Эксплуатация месторождений без учета распределения по территории сейсмической активности может стать

причиной чрезвычайных ситуаций, ставится под угрозу экология региона и отсутствие информации о ней усиливает социальную напряженность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Нестеренко, Ю.М.* Влияние объектов нефтяной и газовой промышленности на гидрогеологические системы в нефтегазоносных бассейнах / Оренбургский Научный центр УрО РАН. Сборник «Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование»: Часть 1. Оренбургский ун-т; Перм. ун-т и др. // Ю.М. Нестеренко, А.В. Глянцев. – Оренбург-Пермь, 2008. – С. 229-231.
2. *Нестеренко, Ю.М.* Водоносные комплексы Бузулукской впадины и их взаимодействие / Ю.М. Нестеренко, А.В. Глянцев // Нефтепромышленное дело. – 2007. - №12. – С. 30-33.
3. *Нестеренко, М.Ю.* Результаты мониторинга сейсмической активности на территории Оренбургского региона / М.Ю. Нестеренко, А.П. Бутолин, А.С. Шаранов // Материалы 3 Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». ГС РАН, г. Обнинск, 2008. – С. 5.
4. *Каиубин, С.Н.* Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С.Н. Каиубин, В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 124 с.

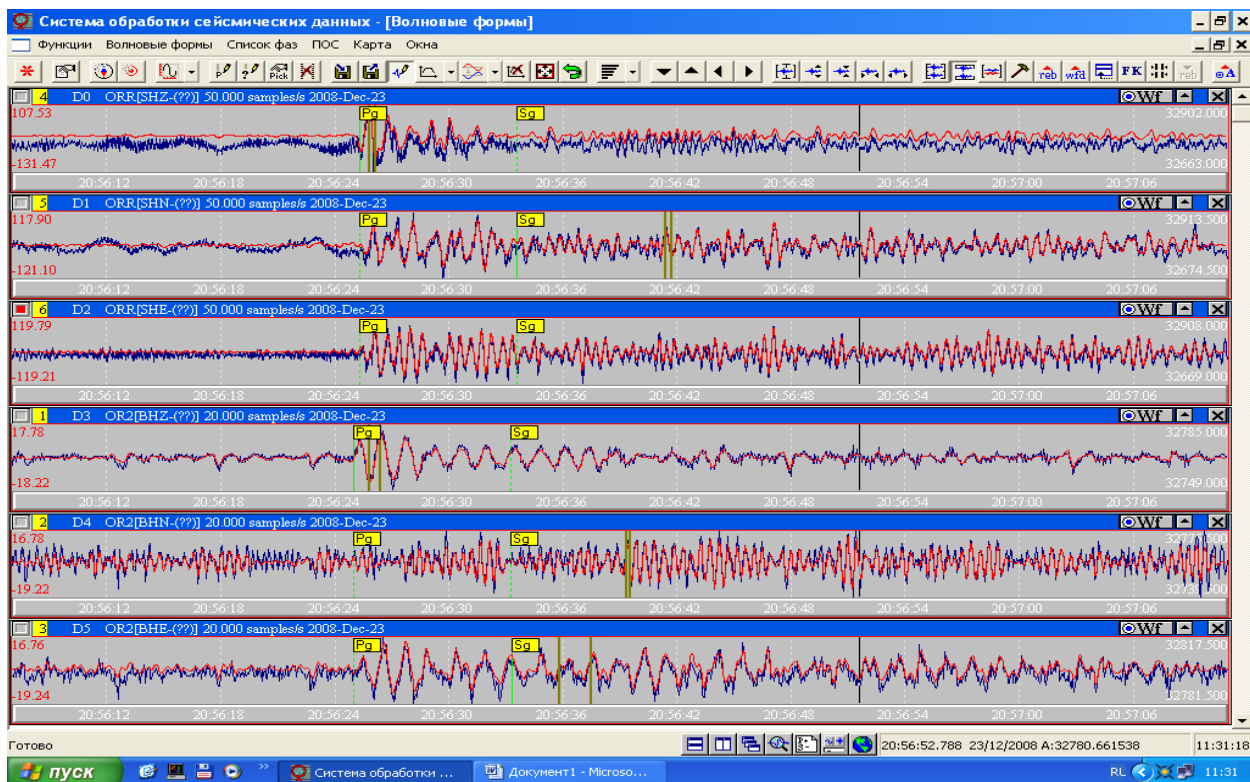


Рис. 4. Общий вид сейсмограммы, отфильтрованной фильтром 0,7-1,4 Гц 3 порядка 23-12-2008 в 20-56-13 GMT события, произошедшего в Переволоцком районе с силой 1,7 Мл R~67 км

## SEISMIC ACTIVITY OF THE DEVELOPED HYDROCARBONS DEPOSITS IN SOUTH PREDURALYE

© 2010 Yu.M. Nesterenko<sup>1</sup>, O.V. Kosolapov<sup>2</sup>, M.Yu. Nesterenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geocology of Orenburg Scientific Centre UB RAS

<sup>2</sup>Agency of Bowels Management in Orenburg oblast

By development of oil and gas deposits inevitably decrease the formation pressure and change the level of formation waters. The interrelation of technogenic changes of an earth's crust with seismic activity and hydrogeodynamics are revealed. Results of seismological monitoring are presented by net of seismic stations "Orenburg". The analysis and comparison of the centers of seismic events to net of tectonic breaks and breaking is lead and procedure of seismic dividing into districts of South Preduralye territory is offered.

Key words: seismic activity, oil and gas deposits, monitoring

Yuriy Nesterenko, Doctor of Geography, Chief. E-mail: geoecol-onc@mail.ru

Oleg Kosolapov, Candidate of Economy, Director

Maxim Nesterenko, Candidate of Technical sciences, Leading Research Fellow