

## ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

В Южном Предуралье эксплуатируется крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение и множество других месторождений нефти. Решение задач мониторинга и прогнозирования геодинамических процессов в районах нефтегазодобычи возможно на основе разработанного Отделом геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН комплексного подхода мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности. Множество эпицентров зарегистрированных событий фиксируются вдоль зон разломов, что свидетельствует о повышенной сейсмичности этих районов, причиной которых по наблюдениям является техногенная сейсмичность. С 1 октября 2010 г. сеть сейсмостанций «Газ-сейсмика» начала регистрировать сейсмические события – взрывы в районе Донгузского полигона МО РФ. Взрывы увеличивают естественную сейсмическую активность в совокупности с негативными последствиями добычи углеводородов, что обуславливает дестабилизацию геодинамики в верхней части земной коры и ее водной системе.

**Ключевые слова:** Южное Предуралье, антропогенное воздействие, ОНКГ, мониторинг, сейсмичность, гидродинамическая воронка, геодинамика, взрывы.

Южное Предуралье испытывает все возрастающее антропогенное воздействие на все его сферы, на живую и неживую материи. Оно проявляется почти на всей его территории. Сельскохозяйственная деятельность распашкой земель и интенсивной пастбой скота практически уничтожила естественные степные биогеоценозы, ускорила эрозионные процессы и значительно повлияла на формирование поверхностного и подземного водного стока [1].

Во второй половине XX века значительно увеличились техногенные воздействия на верхнюю часть земной коры в процессе поиска и эксплуатации многочисленных месторождений нефти и газа. Проникая на большие глубины поисковыми и эксплуатационными скважинами на большей части Южного Предуралья, часто охватывая весь осадочный чехол земной коры, при извлечении огромных объемов углеводородов и попутных пластовых вод человек радикально меняет динамику подземных вод, а через нее и геодинамику земной коры (Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., 2010). Техногенез в недрах в наибольшей мере проявляется в основном в ослабленных разломных зонах, разделяющих геологическую среду на блоки. Распространенные наземные технологии мониторинга геологической среды (по рельефу, геодезическим измерениям, растительности и т.д.) не обеспечивают необходимой информацией для прогноза влияния техногенных изменений в ней на процессы, идущие на земной поверхности. Необходимы другие методические подходы к исследованиям процессов, идущих в недрах. Особая необходимость в них наблюдается при разработке месторождений нефти и газа, располагаемых на глубинах в несколько километров. В этом случае мо-

нитинг по состоянию земной поверхности способен лишь фиксировать результаты крупных техногенных изменений в земной коре и загрязнения ее поверхности и вод зоны активного водообмена.

В Южном Предуралье эксплуатируются крупнейшее в Европе нефтегазоконденсатное месторождение и множество месторождений нефти. При добыче нефти и газа техногенезом охватываются объемы недр до нескольких тысяч кубических километров и на площадях в тысячи квадратных километров. Например, в Южном Предуралье Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) занимает площадь около 2500 км<sup>2</sup>, а уменьшение давлений в пластовых водах в результате 35-летней добычи газа произошло на площади более 5000 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 на квадратный метр [2]. Примерно на эту же величину увеличиваются градиенты давления между пластовыми водами месторождения и прилегающими к ним водоносными комплексами.

Решение задач мониторинга и прогнозирования геодинамических процессов в районах нефтегазодобычи возможно на основе разработанного Отделом геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН комплексного подхода мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности с использованием данных о геологическом и тектоническом строении районов месторождений УВ.

Под природно-техногенной сейсмичностью логично понимать сочетание техногенной и природ-

ной сейсмичности. Когда техногенно обусловленное сейсмическое событие является спусковым механизмом освобождения накопившейся в геологических структурах в результате естественных геодинамических процессов энергии. Природно-техногенные землетрясения могут охватывать большие объемы земной коры и иметь большую мощность.

В настоящее время воздействие человека на сейсмичность земной коры многофакторно. К воздействиям относятся добыча твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, забор подземных вод и закачка их в геологические структуры, взрывные работы на земной поверхности и ее недрах, строительство водохранилищ и многие другие. Нами исследовались геодинамические процессы и сейсмичность земной коры при добыче нефти и газа на примере нефтегазоносного Южного Предуралья.

В табл. 1 и рис. 1 даны сведения о количестве зарегистрированных событий, эпицентры которых попадают в зоны вдоль разломов на разном расстоянии от них. Выявлено, что в пределах 5 километров от разломов плотность событий составляет 0,0079 ед./км<sup>2</sup> за три года наблюдений. В полосовой зоне ограниченной расстояниями от 5 до 10 км от разлома она уменьшается на 23% до 0,0061. За пределами 10 км от разлома количество событий уменьшается в 2 – 3 раза в сравнении с их количеством в зонах ближе 5 км с плотностью 0,0024 за те

же три года и близко к средней плотности сейсмических событий во всей контролируемой сети сейсмических станций территории нефтегазоносного Оренбургского Предуралья. Причем выделившаяся сейсмическая энергия событий, зарегистрированных на удалении более чем 15 км, заметного влияния на суммарную выделившуюся энергию в исследуемых зонах не оказывает (их энергия менее 10<sup>8</sup> Дж). Следовательно, на 5% территории в зоне разломов происходит около 30% всех событий на контролируемой сейсмическим мониторингом общей территории (рис. 1, табл. 1).

В расчете на тысячу квадратных километров за год в зоне планетарно-тектонической трещиноватости происходит около 8 событий с выделением сейсмической энергии на некоторых участках до 10<sup>11</sup> Дж/км<sup>2</sup>\*год, а в среднем 2,59\*10<sup>7</sup> Дж/км<sup>2</sup>\*год. При этом на всей контролируемой сейсмической сетью территории в расчете на тысячу квадратных километров за год происходит 2-3 события с выделением сейсмической энергии до 3,43\*10<sup>6</sup> Дж/км<sup>2</sup>\*год. Это в 7-8 раз меньше среднего ее выделения в зоне разломов и более чем в 1000 раз меньше, чем среднее выделение энергии при сейсмических событиях внутри блоков на расстоянии более 15 км от разломов.

Следовательно, в зонах разломных структур формируется повышенная сейсмическая актив-

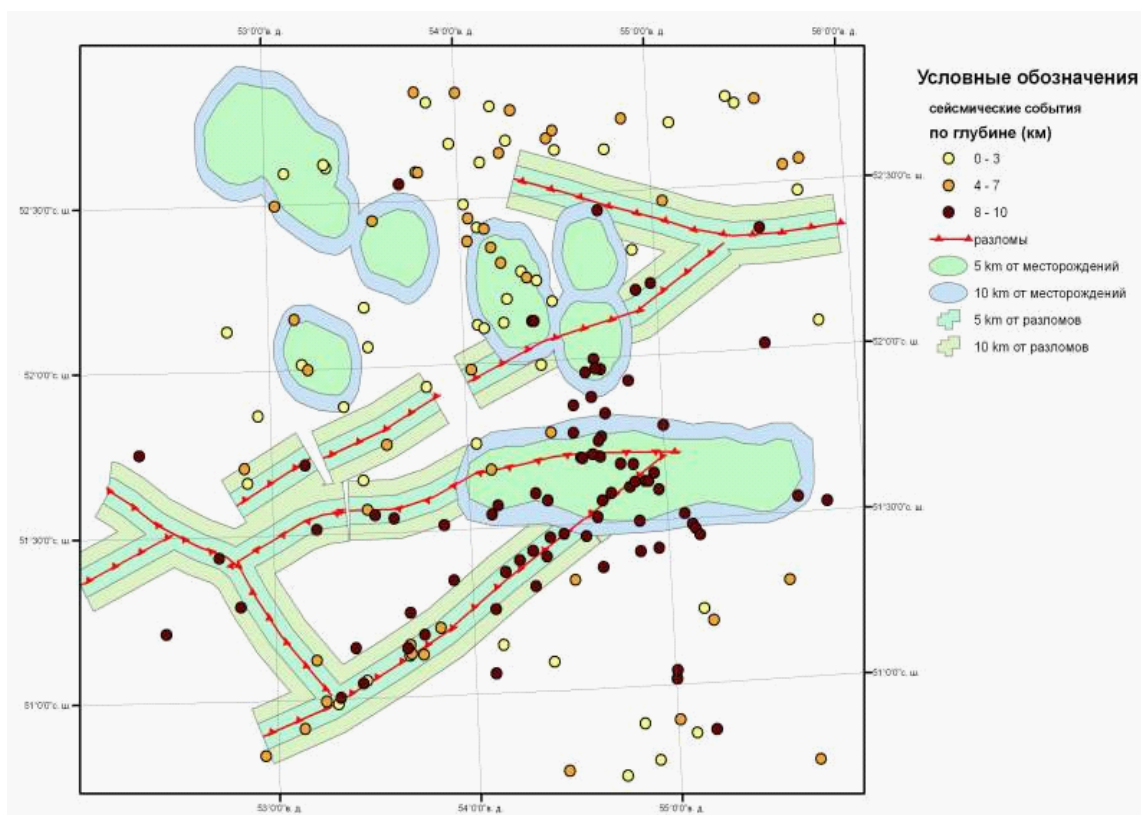


Рисунок 1. Сейсмические события в 2008-2010 гг. и зоны разломов и месторождений в Южном Предуралье

ность (рис. 1, табл. 1). В них же по данным нашего мониторинга в наибольшей мере проявляется техногенная сейсмичность.

Гипоцентры техногенных землетрясений обычно находятся не глубже 10 – 15 км. Объемы земной коры, охватываемые ими на современном уровне антропогенного на нее воздействия (за исключением ядерных взрывов) также меньше, чем при природных землетрясениях.

Анализ распределения сейсмической активности недр в районах интенсивно разрабатываемых месторождений углеводородов и вокруг них показывает, что основная часть сейсмических событий регистрируется в районе месторождений и (табл. 2, рис. 1). Территории, удаленные от зон техногенных нарушений (центральная и восточная части Предуральяского краевого прогиба, юго-восток Прикаспийской синеклизы и др.) имеют значительно меньшую частоту сейсмических событий и вероятно они вызваны естественными тектоническими процессами [4]

В таблице 2 даны сведения о количестве зарегистрированных событий, эпицентры которых попадают в полосовые зоны вокруг месторождений на разном расстоянии от них. Выявлено, что в контурах месторождений нефти и газа плотность событий составляет 0,0081 ед./км<sup>2</sup> за три года наблюдений. В полосовой зоне ограниченной расстояниями до 10 км от месторождения она умень-

шается на 44% до 0,0045 – 0,0046. За пределами 10 км от месторождений количество событий уменьшается в 3-4 раза в сравнении с их количеством в контуре месторождений с плотностью 0,0026 за те же три года. Следовательно, на 10% территории в контуре месторождений и 5 км вокруг него происходит более 30% всех событий на контролируемой сейсмическим мониторингом общей территории Южного Предуралья (рис. 1, табл. 1).

В расчете на тысячу квадратных километров за год в контуре месторождений происходит около 17% событий с выделением сейсмической энергии на некоторых участках до 10<sup>10</sup> Дж/км<sup>2</sup>\*год, а в среднем 8,43\*10<sup>6</sup> Дж/км<sup>2</sup>\*год. В пределах 5-километровой зоны вокруг месторождений сейсмическая активность мало отличается от сейсмической активности в контуре разрабатываемых месторождений нефти и газа. Причиной этому по нашим исследованиям является распространение гидродинамической воронки, сформировавшейся в контуре месторождений, за их границы [2]. В зоне 5-10 километров, где влияние гидродинамической воронки на геодинамику незначительно сейсмическая активность ниже в 2-3 раза. При этом на всей контролируемой сейсмической сетью территории в расчете на тысячу квадратных километров за год происходит 2-3 события с выделением сейсмической энергии до 3,43\*10<sup>6</sup> Дж/км<sup>2</sup>\*год. Это в 2-3 раз меньше среднего ее выделения в зоне

Таблица 1. Анализ сейсмической активности в районе месторождений углеводородов в зависимости от расстояния до разломов за 2008 – 2010 годы

Расстояние до разлома, км	Площадь зоны, км <sup>2</sup>	Количество событий	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./км <sup>2</sup>	Сумм. выделяющаяся энергия	Плотн. выделившейся энергии, Дж/ км <sup>2</sup>
0 – 5	3532	28	16	0,0079	7,47*10 <sup>9</sup>	2,11*10 <sup>6</sup>
5 – 10	3444	21	12	0,0061	8,94*10 <sup>10</sup>	2,59*10 <sup>7</sup>
10 - 15	3294	8	5	0,0024	8,0*10 <sup>9</sup>	2,42*10 <sup>6</sup>
15 – 20	4010	10	6	0,0025	<10 <sup>8</sup>	<10 <sup>4</sup>
Вся территория мониторинга	66170	173	100	0,0026	2,27*10 <sup>11</sup>	3,43*10 <sup>6</sup>

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

Расстояние до месторождения, км	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество событий	% от общего числа событий	Плотность событий, ед./км <sup>2</sup>	Сумм. выделяющаяся энергия, Дж	Плотн. выделившейся энергии, Дж/ км <sup>2</sup>
В контуре месторождений	3582	29	17	0,0081	3,02*10 <sup>10</sup>	8,43*10 <sup>6</sup>
0-5	3129	14	8	0,0045	2,78*10 <sup>10</sup>	8,89*10 <sup>6</sup>
5-10	4360	20	12	0,0046	1,69*10 <sup>10</sup>	3,88*10 <sup>6</sup>
Оренбургское Предуралье	661706	173	100	0,0026	2,27*10 <sup>11</sup>	3,43*10 <sup>6</sup>

месторождений и более чем в 600-700 раз меньше, чем среднее выделение энергии внутри зон влияния разрабатываемых месторождений углеводородов.

Учитывая, что при условии достижения критического уровня напряжений в области подготовки сейсмического события некоторые техногенные или природные процессы могут опосредованно инициировать землетрясение. Например, подрывы боеприпасов с истекшим сроком хранения 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. 2).

С 1 октября 2010 г. сеть сейсмостанций «Газсейсмика» начала регистрировать сейсмические события – взрывы в районе Донгузского полигона МО РФ, связанные с уничтожением боеприпасов с истекшим сроком хранения. В течение октября 2010 г. – май 2011 г. зарегистрировано около 7000 событий-взрывов (на два порядка больше, чем естественных) с энергией до  $10^{9.2}$  Дж. Сам полигон частично расположен на территории Оренбургского НГКМ и до 50% подрывов снарядов осуществляется непосредственно на его территории.

Взрывы увеличивают естественную сейсмическую активность. За последние 3 месяца 2010 года проведение взрывов на полигоне количество зарегистрированных землетрясений за его преде-

лами увеличилось в 2-3 раза, до 6-7 событий в месяц. Они негативно воздействуют на жилые и промышленные здания, а также отрицательным образом могут сказаться на объектах добычи, в первую очередь нарушить изолирующие свойства цементного камня на фонде действующих и ликвидированных скважин.

Наиболее значимым деструктивным фактором влияния взрывов является возможное механическое разрушение элементов конструкции скважин. Оно выражается в следующих проявлениях:

1. Сейсмические волны, генерируемые при взрывах, в разной степени воздействуют на инженерные сооружения и объекты недр. Это приводит к возрастанию амплитуд частотной составляющей собственных колебаний трубных и цементных элементов скважин, на которые они при проектировании *не были рассчитаны*. Поскольку при взрыве генерируется крайне широкий диапазон волновых частот (2 – 7 Гц) статистический анализ сейсмограмм взрывов показал, что максимальные амплитуды приходится на частоты 2.5 – 5 Гц. Это уверенно согласуется с собственными колебаниями скважинных конструкций (3.5 – 4.5 Гц для цементной конструкции непосредственно контактирующей с горной породой), приводя к резонансным явлениям. Соответствующая частота главного резонанса, рассчитанная по известному выражению  $f = \frac{v}{2L}$ , приближенно равна 4 Гц. Здесь  $v$  –

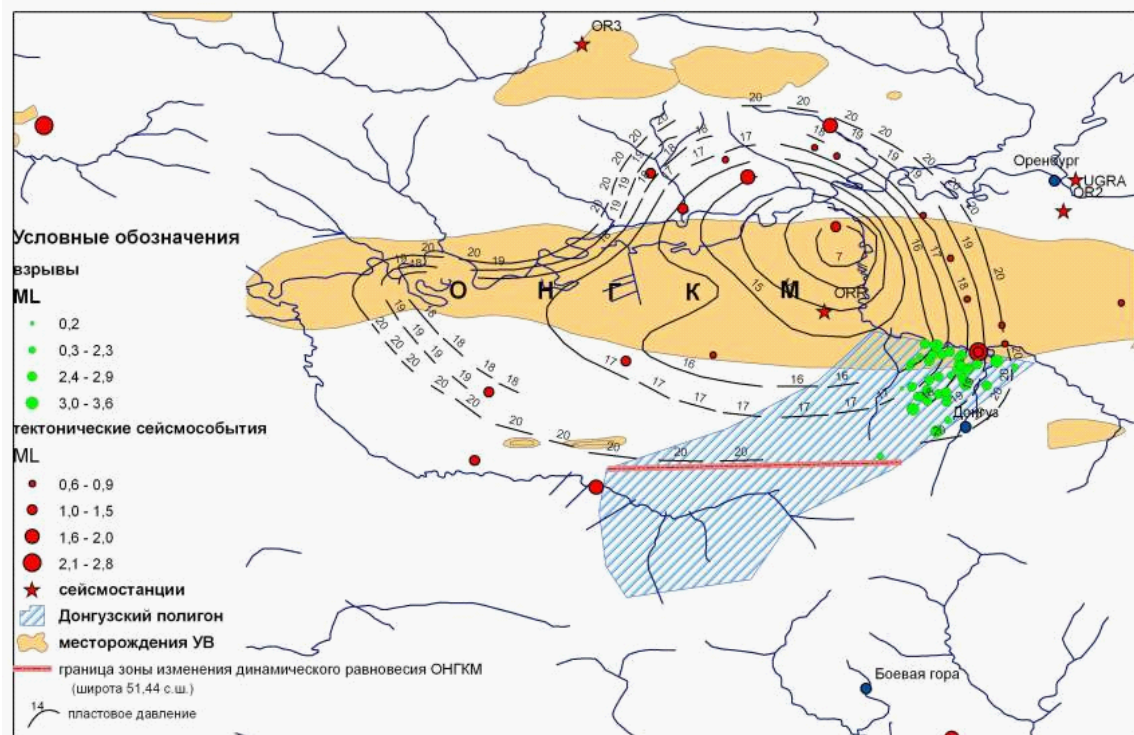


Рисунок 2. Карта распределения сейсмособытий за период октябрь 2010 – май 2011

скорость распространения волны,  $L$  – длина конструкции скважины. В итоге большое количество взрывов значительной мощности может вызвать нарушение контакта цементного камня с породой и колонной скважин и их разгерметизацию. Это приведет к проникновению водогазовой смеси в образовавшийся зазор в зоне контакта цементного камня с относительно слабыми в прочностном отношении горными породами.

2. В связи с обводненностью горных пород следует ожидать возникновение мощных гидравлических ударов, спровоцированных собственно взрывами на полигоне и вторичными сейсмическими событиями (афтершоками), их сопровождающими. По данным отдела геоэкологии ОНЦ УрО РАН большинство афтершоков возникают к северу от Донгузского полигона, т.е. непосредственно на территории месторождения, среди систем сбора, транспортировки и первичной обработки сырья. Гидравлические удары способны нарушить герметичность цементного камня скважины. Опасность этих явлений в целом на месторождении возрастает пропорционально количеству скважин, число которых более 1000.

3. Мониторинг взрывных сейсмических событий и афтершоков регистрирует их существенное проявление в радиусе 30 и более километров, что по невыясненным причинам на порядок больше заявленной министерством обороны РФ зоны влияния.

#### Выводы:

Одной из основных проблем экологии Южного Предуралья при добыче полезных ископаемых являются изменения в геодинамике верхней части земной коры и ее водной системе. Особенно масштабны изменения в геологической среде в регионах добычи нефти и газа. При их добыче техногенезом охватываются объемы недр до десятков тысяч кубических километров и на площадях в тысячи квадратных километров. Дестабилизация геологической среды в таких объемах нарушает многие сложившиеся в ней связи и процессы далеко за пределами месторождений, обуславливая соответствующие по величине негативные последствия для живой и неживой материи природы и человека. Важнейшим негативным последствием добычи углеводородов является усиление сейсмической активности земной коры.

17.10.2011

#### Список литературы:

1. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006, 287 с.
2. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М. Гидрогеологические процессы и их моделирование в районах добычи углеводородов на примере Южного Предуралья // Ж. Вестник ОГУ, №9, 2010, с.122-127
3. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянецев А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Ж. Литосфера №4 2010б С.28 – 41
4. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Карлюк М.С. Сейсмичность в районах добычи углеводородов Южного Предуралья // Ж. Проблемы анализа риска, Том 7, 2010, №2 С.48 – 54.

Сведения об авторах:

**Нестеренко Юрий Михайлович**, заведующий отделом геоэкологии У РАН Оренбургского научного центра УрО РАН, доктор географических наук, профессор

460014 г. Оренбург, ул. Набережная 29, а/я 59, тел. (3532) 775670, e-mail: Geocol-onc@mail.ru

**Нестеренко Максим Юрьевич**, доцент кафедры математического обеспечения информац. систем

Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент

460018, г.Оренбург, пр. Победы, 13, тел. (3532) 517193, e-mail: n\_mu@mail.ru

**Пелагеин Александр Александрович**, преподаватель кафедры геологии

Оренбургского государственного университета

460018, г.Оренбург, пр. Победы, 13, e-mail: ccc\_anek\_r@mail.ru

**Шарапов Александр Сергеевич**, научный сотрудник отдела геоэкологии У РАН

Оренбургского научного центра УрО РАН

460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29, тел. (3532) 770656, e-mail: geocol-onc@mail.ru

UDC 502.7:504.058

Nesterenko Y.M.<sup>2</sup>, Nesterenko M.Y.<sup>1</sup>, Pelagein A.A.<sup>1</sup>, Sharapov A.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Orenburg state university; <sup>2</sup>Department of Environmental Geoscience E RAS Orenburg Scientific Center of UrD RAS, e-mail: geocol-ONC@mail.ru

#### PROBLEMS OF ECOLOGY OIL AND GAS SOUTHERN URALS REGION

In the Southern Urals operates Europe's largest oil and gas field Orenburg, and many other oil fields. Meeting the challenges of monitoring and forecasting of geodynamic processes in the areas of oil and gas production possible on the basis of the developed by the Division of Environmental Geoscience Orenburg Research Center of UrD RAS integrated approach for monitoring of geodynamic processes and earthquake activity. A lot of the epicenters of registered events recorded along the fault zones, indicating that these regions of high seismicity, caused by technogenic seismicity is observed. On October 1, 2010 seismic network, «Gas-seismic» start record seismic events – explosions in the vicinity of the landfill Donguzsk Defense Ministry. Blasts increase the natural seismic activity in conjunction with the negative consequences of hydrocarbons, which leads to destabilization of the geodynamics of the upper crust and its water system.

Keywords: South Urals, anthropogenic impacts, ONKG, monitoring, seismicity, hydrodynamic vortex, geodynamics, explosions