

ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ГЕОДИНАМИКУ И ВОДНЫЕ СИСТЕМЫ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2010 г. Ю. М. Нестеренко*, В. И. Днистрянский**, М. Ю. Нестеренко*, А. В. Глянцев*

*Отдел геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН
460014, г. Оренбург, ул. Набережная, 29
E-mail: geocol-onc@mail.ru

**ООО “Газпром добыча Оренбург”
460021, г. Оренбург, ул. 60 лет Октября, 11
E-mail: geolog@ogp.ru

Поступила в редакцию 14.12.2009 г.

Рассмотрены техногенные изменения геологической среды районов добычи углеводородов в Южном Предуралье. 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. Доказана гидродинамическая связь водоносных горизонтов Южного Предуралья. Представлены результаты сейсмологического мониторинга сетью сейсмостанций “Оренбург”. Проведен анализ и сопоставление очагов сейсмических событий с геологическим и тектоническим строением и предложена методика сейсмического районирования территории Южного Предуралья.

Ключевые слова: *гидрогеодинамика, сейсмология, Южное Предуралье, техногенные изменения, добыча углеводородов.*

ВВЕДЕНИЕ

Южное Предуралье включает западную и центральную части Оренбургской области до Уральских гор, а также нефтегазоносные области, занимающие юго-западную часть Башкортостана и северо-запад Казахстана. На этой территории около 40 лет интенсивно эксплуатируется крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) и множество месторождений нефти. Высокая плотность месторождений и интенсивная их разработка вызывают изменения в геологической среде и подземных водах.

Техногенные изменения в недрах Земли обычно протекают замедленно, они имеют отдаленные последствия и, как правило, трудно устранимы. 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. Последствия таких изменений 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.

Техногенно измененная динамика подземных вод перераспределяет напряжения в геологической среде. В геологических структурах при значительных изменениях давлений формируются напряжения, и повышается сейсмическая активность.

В целях исследования влияния техногенеза на динамику земной коры в районах интенсивной разработки месторождений углеводородов в Южном Предуралье нами создана сеть сейсмостанций “Газ-сейсмика”, которая зарегистрирована и вошла в общероссийскую сеть. К настоящему времени сеть состоит из четырех сейсмостанций, оборудованных сейсмоприемниками СМЗ-КВ и СМЗ-ОС и регистраторами SDAS v 3.1 и UGRA.

На разрабатываемых месторождениях нефти и газа сейсмостанциями фиксируется в среднем 2–3 сейсмических события в месяц с магнитудой M_l 1–2 и более, что на порядок больше, чем за пределами месторождений. Большинство зафиксированных в 2007–2009 гг. сейсмических событий имеют очаги на глубинах до 10 км (рис. 1).

Для выявления сейсмоактивных структур, причин и механизма увеличения их сейсмической активности нами уточнено геологическое строение Южного Предуралья и проведен ряд исследований системы его подземных вод в естественных и техногенно измененных условиях.

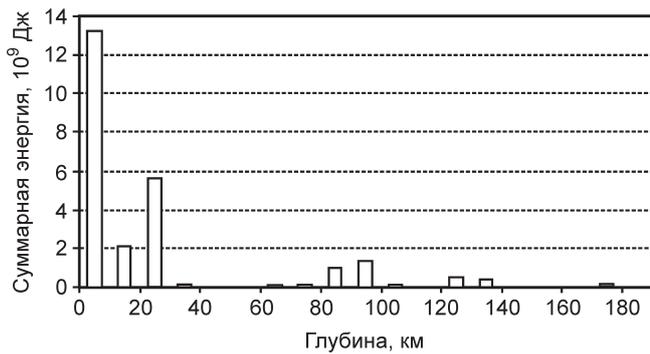


Рис. 1. Распределение землетрясений по глубинам на территории Оренбургской области в 2007–2009 гг.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Территория Южного Предуралья включает юго-восточную часть Русской (Восточно-Европейской) платформы, северный борт Прикаспийской впадины и юго-запад Предуральского краевого прогиба. На западной границе территории расположены Серноводско-Абдулинская впадина, Жигулевско-Оренбургский свод и Бузулукская впадина, с востока ограниченная Уральской Складчатой системой, а с севера – Татарским и Пермско-Башкирским сводами (рис. 2).

При исследовании процессов формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) и подготовки землетрясения необходимо учитывать геологическое строение верхней части земной коры на глубину 10–15 км.

В соответствии с принципом унаследованности в тектонике, тектонические структуры и нарушения, возникшие в прошлые геологические эпохи, продолжают развиваться в наше время. Поэтому, основные тектонические элементы, выделяемые в современном структурном плане Южного Предуралья, следует рассматривать как динамически развивающиеся под воздействием вед структуры, ущих и направляющих факторов развития земной коры. Техногенные воздействия накладываются на естественные геодинамические процессы и могут их усиливать или компенсировать напряженное состояние геологической среды. Для выяснения их причин необходимо исследование строения осадочного чехла и подстилающего его фундамента.

В кристаллическом фундаменте в Южном Предуралье в пределах юго-восточной части Волго-Уральской антеклизы по данным [1, 4] с нашими уточнениями выделяются несколько крупных положительных и отрицательных структурных форм. Поверхность кристаллического фундамента архейско-протерозойского времени постепенно понижается с севера от абсолютной отметки –1700 м до отметки –4800 на юге. Соответственно увеличивает-

ся мощность осадочного чехла с 1700 м до 5000 м (рис. 2).

Южное окончание Татарского свода характеризуется самым высоким залеганием поверхности кристаллического фундамента – от 1.6 до 2.0 км.

Серноводско-Абдулинская впадина расположена к югу от южного склона Татарского свода и прослеживается в широтном направлении на расстоянии более 300 км. Северный борт впадины – относительно пологий, южный – крутой.

Жигулевско-Оренбургский свод ограничен с севера Серноводско-Абдулинской впадиной, с юга – Бузулукской впадиной, а на востоке граничит с юго-восточным краевым блоком. Свод вытянут с запада на восток на 550 км при ширине 200 км на западе и 110 км на востоке. Поверхность фундамента погружается в этом же направлении с –1420 до –2980 м.

Бузулукская впадина на севере ограничена Жигулевско-Оренбургским сводом, а на юге – Прикаспийской синеклизой. Северная ее часть имеет ширину 30–40 км, а южная – 150–200 км. Глубина залегания поверхности фундамента достигает 5 км.

В пределах юго-восточного склона Русской платформы глубина залегания поверхности фундамента по геофизическим данным изменяется от 4 до 10 км. В самой южной части склона выделяется Соль-Илецкий выступ с глубинами залегания поверхности фундамента 4–5 км. Самым древним вскрытым горизонтом на Соль-Илецком выступе является ордовик.

Предуральский краевой прогиб, расположенный на востоке Южного Предуралья, вытянут в меридиальном направлении от Тиманского кряжа на севере до широты г. Соль-Илецка на юге на расстоянии свыше 1000 км при ширине от 20 до 110 км. Краевой прогиб заполнен мощной толщей пермских отложений и характеризуется асимметричным строением бортов и зонально-полосовым распределением фаций.

Обрамляющая с востока Южное Предуралье Уральская складчатая система включает Западно-Уральскую зону внешней складчатости, в которой породы смяты в систему узких складок меридионального простираения, Центрально-Уральское поднятие и Магнитогорский прогиб.

Прикаспийская синеклиза входит в территорию Южного Предуралья своим северным бортом. По границе между Волго-Уральской антеклизой и Прикаспийской синеклизой проходит ряд глубинных разломов, обуславливающих, согласно карте ОСР-97, высокую природную сейсмичность до 6–7 баллов по шкале MSK-64. В районе Южного Предуралья, на западе и севере Прикаспийской синеклизы, кристаллический фундамент залегает на глубине 3–6 км, с продвижением на юг он неравномерно, уступами погружается до глубины 15–20 км.

Кристаллический фундамент Южного Предуралья имеет густую сеть разломов (рис. 2). Они

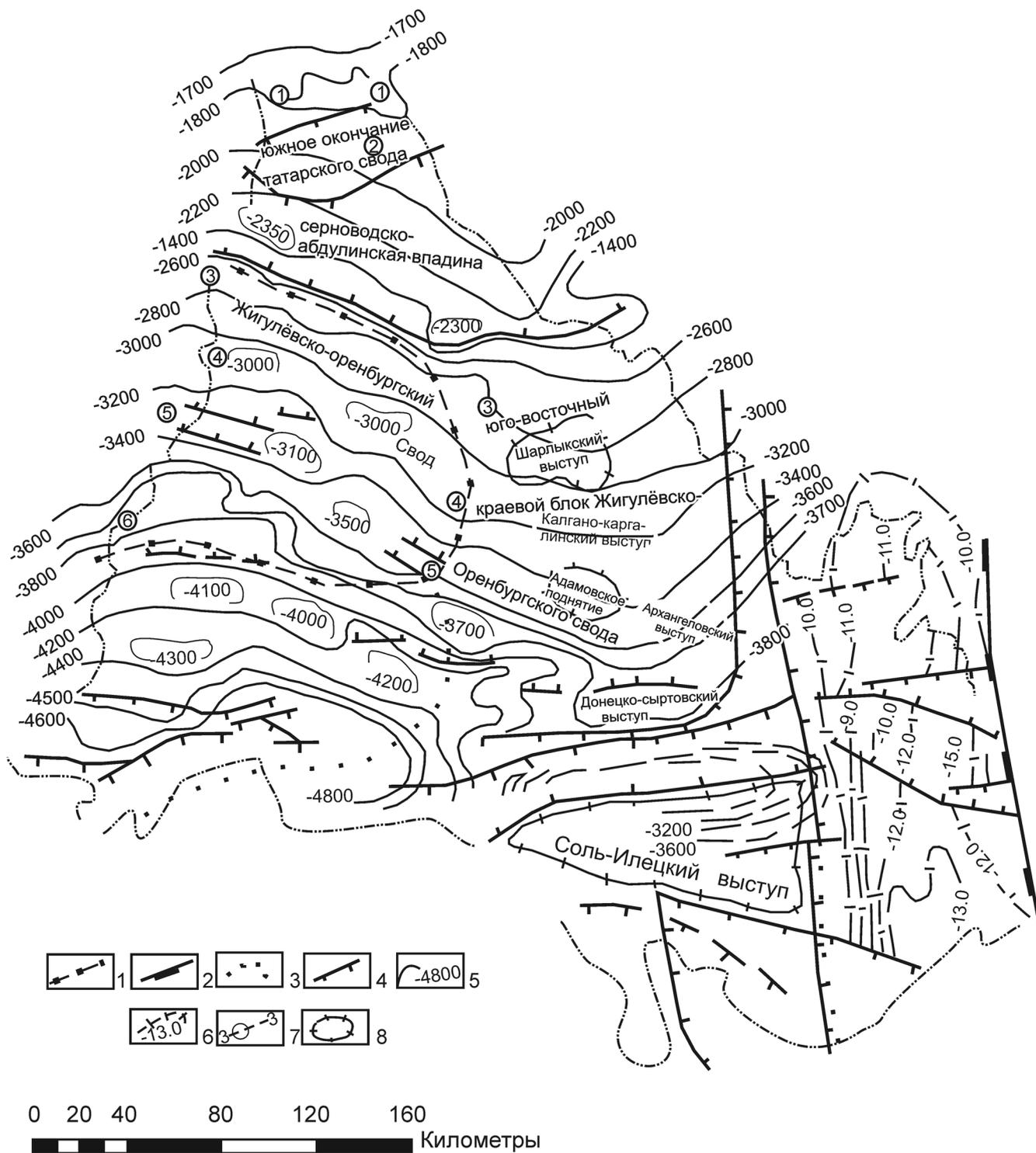


Рис. 2. Тектоническая схема кристаллического фундамента Южного Предуралья.

1 – граница Жигулёвско-Оренбургского свода; 2 – граница передовых складок Урала; 3 – границы разделения докембрийской поверхности, по стратиграфическому признаку (надписи в прямоугольниках: Аг–докембрийский рельеф, образованный породами архея, R + V – то же, породами рифей-венда, О – то же, породами ордовика); 4 – линии тектонических нарушений, по данным геофизики; 5 – изогипсы докембрийской поверхности, по данным бурения скважин; 6 – изогипсы кровли кристаллического фундамента, по данным гравиразведки; 7 – гряды-останцы поверхности кристаллического фундамента, по данным бурения скважин (цифры в кружках: 1 – Домосейкинская, 2 – Таткандызская, 3 – Кирюшкинская, 4 – Жуковско-Донская, 5 – Гремячевско-Ольховская, 6 – Спиридоновско-Пойменная); 8 – выступы кристаллического фундамента, по данным геофизики.

обуславливают основные границы блоков геологической среды региона. Блоковое строение фундамента часто прослеживается до земной поверхности в виде речных долин, водоразделов, оврагов и др. По контуру газоносности ОНГКМ по северному крылу Оренбургского вала проходит разломная зона широтного простирания, совпадающая в первом приближении с простиранием русла реки Урал. Повышенная плотность разломов прослеживается по границе Волго-Уральских бассейнов, под р. Самара и т.д.

Осадочный чехол в западной части Южного Предуралья представлен отложениями палеозойских и мезо-кайнозойских образований общей мощностью 3–5 км. В восточной, южной и северной частях кристаллический фундамент перекрыт протерозойско-палеозойскими отложениями мощностью от 2.5 до 6 км [1, 7]. Почти повсеместно в пределах свода в разрезе (рис. 3) отсутствуют рифейско-вендские отложения. В западной и северной, наиболее приподнятых его частях, из разреза местами выпадают низы девонских отложений.

ГИДРОГЕОСИСТЕМА ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

В толще осадочных пород с точки зрения формирования подземных вод выделяются три структурных этажа: верхнепермско-четвертичный (надсолевой), кунгурский (солевой) и среднедевонско-артинский (подсолевой). Сульфатно-галогенные отложения делят водную систему на два этажа: верхний – зону активного водообмена, и нижний (подсолевой) – с весьма замедленным водообменом.

Согласно схеме гидрогеологического районирования, составленной ВСЕГИНГЕО, рассматриваемая территория входит в состав Восточно-Русского артезианского бассейна подземных вод первого порядка. В качестве гидрогеологических структур более низкого порядка выделяется Сыртовский, Южно-Предуральский, частично Камско-Вятский и Эмбенский артезианские бассейны второго порядка.

В разрезе осадочной толщи Южного Предуралья по геологическому строению выделяются 4 региональных и ряд зональных водоупоров.

Геологическое строение региона обуславливает формирование 10 основных водоносных комплексов [2]. На рис. 3 представлен сводный литолого-стратиграфический разрез, уточненный по материалам бурения поисковых и разведочных скважин на территории Бузулукской впадины.

Водоносными являются практически все выделенные стратиграфические комплексы пород – от четвертичных до ордовикско-силурийских.

В верхний этаж входят:

1. Четвертичный водоносный комплекс пресных и слабосоленых вод. Развит в долинах рек, на первой, второй и третьей надпойменных террасах рек Урал и Самара, по крупным речным долинам;

2. Неогеновый слабодоносный комплекс пластовых, как правило, слабосоленых вод, развит локально, в основном по долинам рек;

3. Меловой водоносный комплекс пластовых солоноватых и пресных вод. Имеет ограниченное распространение, в основном, южнее Оренбургского вала. Меловые отложения выходят на поверхность и гидрогеологически открыты;

4. Юрский водоносный комплекс пластовых солоноватых и пресных вод имеет прерывистое распространение, в основном севернее и южнее Оренбургского вала, приурочен часто к дизъюнктивным мульдам. Породы комплекса выходят на поверхность и чаще гидрогеологически открыты;

5. Верхнепермско-нижнетриасовый водоносный комплекс, представленный скоплениями пластовых солоноватых и пресных вод. Региональные выдержанные водоупоры отсутствуют, локальные водоупоры связаны с глинистыми толщами. Породы комплекса выходят на дневную поверхность и в основном гидрогеологически открыты;

6. Верхнепермский водоносный комплекс, представленный скоплениями пластовых крепких рассолов, соленых, солоноватых и пресных вод. Водоупорными являются сульфатно-галогенные толщи гидрохимической свиты казанского яруса, развитые локально северо-восточнее и восточнее Оренбургского вала. Породы комплекса выходят на дневную поверхность и часто гидрогеологически открыты.

В нижний этаж входят:

1. Московско-кунгурский водоносный комплекс, в составе которого имеются скопления порово-трещинно-пластовых крепких и весьма крепких рассолов. С этим водоносным комплексом связаны продуктивные толщи ОНГКМ и ряда месторождений нефти. Этот водоносный комплекс подсолевой водонапорной системы испытывает наибольшее воздействие от добычи углеводородов в связи со снижением пластовых давлений. Региональным водоупором, изолирующим комплекс сверху, являются сульфатно-галогенные породы кунгурского яруса нижней перми.

2. Визейско-башкирский водоносный комплекс представлен палеокарстово-трещинно-пластовыми крепкими рассолами от тульского горизонта до подошвы верейского горизонта среднего карбона. Относительным водоупором здесь являются глинистые известняки с прослоями аргиллитов верейского (местами и каширского горизонтов) мощностью 10–30 м, имеющие региональное распространение.

3. Франско-турнейский водоносный комплекс, представленный порово-трещинно-пластовыми крепкими рассолами от кровли кыновских глин до подошвы бобриковского горизонта. Региональным водоупором является толща глинисто-мергелистых отложений бобриковского горизонта на юге и частично тульского – на севере. В пределах Оренбургского вала ордовикско-верхнедевонский и франско-

Система		ПЕРМСКАЯ							КАМЕННОУГОЛЬНАЯ		
Отдел	Ярус	Подъярус	Горизонт, свита, толща	Мощность, м	Литология	Литологическая характеристика		Водоносный комплекс	Региональные водоупоры		
ПЕРМСКАЯ	верхний	каз.	нижний	калиновская	10-100		Глины, известняки	Водоносный комплекс уфимско-нижнеказ			
		уфим.			60-160		Переслаивание песчаников, алевролитов, глин, мергелей, доломитов				
	нижний	кунгурский		ирень-	185-915		Переслаивание солей и ангидритов, реже доломитов	кунгурский			
				ский			Доломиты, ангидриты				
				Филиповский							
	нижний	ассел. + сакмар + артинский			200-340		Переслаивание известняков и доломитов с прослоями ангидритов, реже гипсов	ассельско-артинский			
					180-330						
	КАМЕННОУГОЛЬНАЯ	средний	московский	верхний	210-550		Известняки с прослоями доломитов и доломитизированные известняки, в нижней части разреза маломощные прослои аргиллитов	средне-верхне-каменноугольный			
							нижний				
		нижний	башкир		верейский	95-245		Известняки, прослоями глинистые, участками до перехода в доломиты			
150-195						Доломиты с прослоями ангидритов, в основании - глинисто-карбонатная пачка					
335-700						Известняки и доломиты, в верхней части с прослоями ангидритов					
						Известняки с прослоями аргиллитов и доломитов					
нижний	визейский	берглов	верхний	алексинский+михайловский+веневский		Терригенные породы с прослоями изв-в, мергелей					
						нижний	Терригенные породы				

Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Горизонт, свита, толща	Мощность, м	Литология	Литологическая характеристика	Водоносный комплекс	Региональные водоупоры
ДЕВОНСКАЯ	верхний	турней.			100-300		Известняки в разной степени глинистые с прослоями доломитов	среднефранско-турнейский	
			фаменский	верхний		375-650			
		нижний + средний					Известняки прослоями глинистые, доломиты		
		франский	верхний	ливен.+евланов.+воронежский	125-415		Известняки до перехода в доломит		
				мендымский		Известняки			
			средний	доманик. + саргаевский		Известняки и доломиты, с прослойками аргиллитов			
		нижний	тиман.+паш.		80-195		Терригенные породы		
				муллинский		Известняки, аргиллиты			
				ардаатовский		Верх.часть разреза - изв-ки Нижн.часть – песчаники, алевролиты, аргиллиты			
		эйфельский	живетский	воробьёвский	40-195		Терриг. породы с пр. изв-в		
				верхний		афонинский	Известняки с прослоями терригенных пород		
						нижний	бийский		
		нижний	эмский		10-40		Терригенно-карбонатные породы		
				Кристаллический фундамент	>15		Гнейсы, амфиболиты		



Рис. 3. Уточненный сводный литолого-стратиграфический разрез (Бузулукская впадина).

1 – известняки, 2 – доломиты, 3 – песчаники, 4 – глины и аргиллиты, 5 – алевролиты, 6 – ангидриты, 7 – каменная соль, 8 – гипсы, 9 – гнейсы.

турнейский водоносные комплексы гидрогеологически связаны из-за размыва девонских отложений, в т. ч. кыновского водоупора.

4. Ордовикско-верхнедевонский водоносный комплекс порово-трещинно-пластовых крепких рассолов. Региональным водоупором для этого комплекса являются глинистые породы кыновского горизонта. Этот водоносный комплекс полностью

представлен на Восточно-Оренбургском своде, в Бузулукской впадине и Предуральском прогибе.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

Вопрос о наличии вертикальной гидродинамической связи между водоносными горизонта-

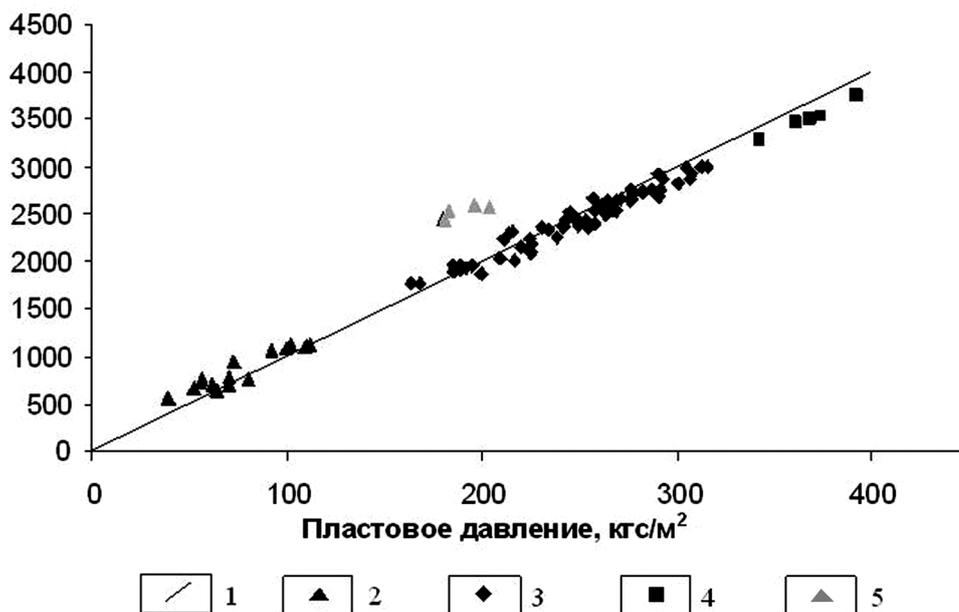


Рис. 4. Связь между пластовым давлением и глубиной залегания горизонтов.

1 – линия нормального гидростатического давления, 2 – воды пермского возраста, 3 – воды карбона, 4 – воды девона, 5 – воды карбона с техногенно нарушенным давлением.

ми осадочного чехла Южного Предуралья до настоящего времени однозначно не решен. Его решение имеет важное научное и практическое значение для охраны окружающей среды и недр, выявления геодинамических процессов в естественных и особенно техногенно измененных условиях, поиска и эксплуатации месторождений углеводородов.

Подземные воды верхнего этажа в основном имеют связь с грунтовыми и поверхностными водами, поэтому режим их накопления преимущественно инфильтрационный.

Наличие связи и водообмена между водоносными комплексами нижнего и верхнего гидродинамических этажей по вертикали ряд исследователей (Б.Л. Личков, Н.К. Игнатович, Н.И. Толстихин, Е.В. Посохов, И.К. Зайцев, Е.Ф. Станкевич и др.) отрицают из-за наличия регионального сульфатно-галогенного водоупора. Наши исследования показывают наличие этой связи.

Подтверждением является практически прямолинейная зависимость давления в водоносных горизонтах палеозоя Бузулукской впадины от глубины их залегания [6, 7] (рис. 4).

Большинство точек находится на линии нормального гидростатического давления ($\Delta p = 1 \text{ кг/см}^2$ на 10 м) или в непосредственной близости от нее. Следовательно, фактическое пластовое давление в палеозойских горизонтах контролируется высотой столба воды и её средневзвешенным объемным весом над точкой замера.

В табл. 1 дано сравнение приведенных статических уровней по ряду скважин в районе ОНГКМ и прилегающих территориях с урезами меженного уровня в близ расположенных реках. По данным таблицы видно, что все водоносные горизонты нижнего этажа, независимо от глубины их залегания, имеют относительно близкие приведенные статические уровни. В границах месторождения средняя абсолютная отметка приведенных статических уровней до его разработки были лишь на 0–7 м выше урезов воды р. Урал в межень (73–80 м), дренирующей исследуемую территорию, под долиной которой проходит тектонический разлом.

Если учесть дополнительный напор подземных вод зоны активного водообмена на водосборе относительно меженного уровня реки то, по-видимому, будет иметь место динамическое равновесие между верхним и нижним этажами водоносных горизонтов в естественных, продолжительное время неизменяемых условиях. Следовательно, можно сделать предварительный вывод о наличии гидродинамической связи через мощную толщу отложений солей. Она может проходить через тектонические трещины и разломы.

На расстоянии 0–50 км от месторождения приведенные статические уровни скважин имеют в среднем на 3 м более высокую отметку, чем урез воды, протекающей здесь р. Урал и на 24 м меньшую, чем урез воды р. Самара Волжского бассейна. На расстоянии 50–100 км на север от месторождения приведенные напоры на 10 м выше урезов воды

Таблица 1. Приведенные статические уровни вод нижнего этажа в районе ОНГКМ до его разработки и их сравнительная характеристика с урезами меженного уровня рек

№ скв., в скобках – глубина до середины опробования, м. б.	Расстояние от ОНГКМ			
	На ОНГКМ, урез воды рек 73–80 м (абс. отм.)	0–50 км, урез воды рек 102–130 м (абс. отм.)	50–100 км, урез воды рек 120 м (абс. отм.)	Более 100 км, урез воды рек 92–136 м (абс. отм.)
29 (1738)	69.5	104.2	149.7	95.6
71 (1772)	79.2	114.8	151.3	97.9
87 (1803)	85.0	121.2	128.3	73.3
44 (1803)	72.2	123.4	89.0	5.0
69 (1856)	72.5	118.2	61.9	20.0
93 (2121)	92.5	161.5	97.7	3.3
69 (1812)	76.4	113.2	124.9	69.8
76 (1836)	87.5	124.4	142.1	86.7
69 (2233)	95.9	116.2	152.6	27.6
82 (2059)	69.7	88.6	127.5	69.7
77 (2173)	90.4	99.2	132.4	33.0
77 (2224)	92.3	115.0	134.9	78.7
78 (2267)	93.8	105.2	114.6	57.3
90 (2336)	208	225.0	153.8	73.2
69 (2478)	70.0	85.1	112.7	25.0
46 (20606)	121.9	139.9	173.6	95.9
68 (2786)	133.2	147.1	188.7	105.5
77 (2421)	75.6	97.7	120.2	53.9
77 (2535)	69.1	87.7	102.4	25.6
77 (2616)	78.5	96.8	130.8	52.3
77 (2756)	69.7	83.6	125.4	41.8
Среднее	80.0	105.1	130.7	63.2

этих рек. За пределами 100 км от месторождения отметки уреза меженного уровня р. Самара на 30 м, а р. Урал на 70 м выше приведенных статических уровней исследуемых скважин на месторождении.

Сравнение статических уровней водоносных горизонтов нижнего этажа с учетом их удельного веса и среднего удельного веса вышерасположенных водоносных горизонтов на ОНГКМ и на расстояниях до 50 км, 100 км и более 100 км на север от него показало наличие гидродинамической связи его пластовых вод с водами верхнего этажа до Волго-Уральского водораздела. Сравнение приведенных статических уровней подземных вод бассейна р. Урал с уровнями примыкающих с севера подземных вод Волжского бассейна не выявляет гидродинамической связи между ними. В них свои системы вертикального и латерального водообмена. Это соответствует пластово-блоковой модели строения глубоких горизонтов слоистых геологических и водных систем платформ [3].

Анализ соотношений приведенных статических уровней вод нижнего этажа на месторождении с урезами воды в реках показывает, что возможно движение вод нижнего этажа от Волго-Уральского водораздела на юг к месторождению. Однако это требует дополнительных исследований.

ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

В результате интенсивной эксплуатации месторождений углеводородов, понизившей пластовое давление в нижнем этаже подземных вод региона на десятки и даже сотни атмосфер, нарушилось естественное гидродинамическое равновесие между верхним и нижним этажами подземных вод. В районе месторождений создались условия для нисходящего движения вод над его пластовыми водами и восходящего под ними, а также латерального притока с прилегающих территорий. Для выявления механизма и интенсивности их нисходящего движения необходимы специальные исследования [6].

На рис. 5 показано распределение давлений в пластовых водах ОНГКМ через 35 лет его эксплуатации. Месторождение занимает площадь около 2500 км², а уменьшение давлений в пластовых водах в результате добычи газа произошло на площади более 4000 км². В центральной части месторождения давление пластовых вод уменьшилось более чем на 10 МПа, а в среднем – на 6 МПа. Это привело к изменению гидродинамического и энергетического балансов и накоплению потенциальной энергии. Обводнение залежи и сейсмические события,

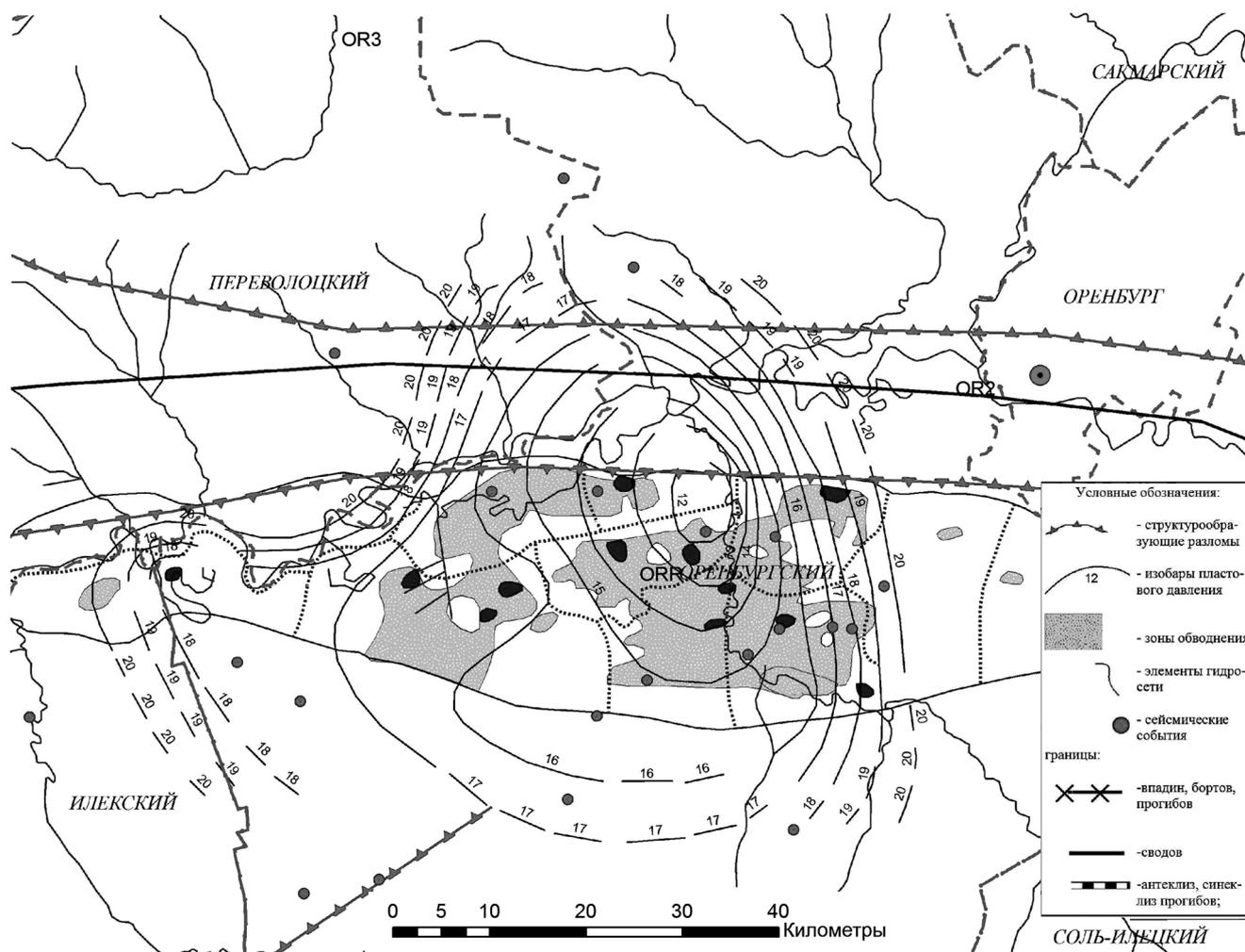


Рис. 5. Распределение давлений в пластовых водах ОНГКМ (по материалам ООО «ВОЛГОУРАЛНИПИГАЗ») и зоны обводнения газодобывающих скважин.

наблюдаемые в районе месторождения, свидетельствуют о происходящей разгрузке напряжений в геологической среде.

На интенсивно разрабатываемых месторождениях нефти в Южном Предуралье также формируются гидродинамические воронки. На рис. 6 по нашим данным приведены установившиеся уровни вод средне-турнейского комплекса в Бузулукской впадине после разработки месторождений нефти. Пунктирными изолиниями показаны техногенно измененные приведенные уровни вод на эксплуатируемых 30 лет месторождениях нефти. В центральной части ряда месторождений пластовое давление уменьшилось на 20 МПа и более, образовав гидродинамические воронки диаметром 10–30 и более километров.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Согласно карте общего сейсмического районирования территории Российской Федерации северная, северо-западная и центральная части Южного

Предуралья (в том числе Бузулукская впадина, северный склон Соль-Илецкого выступа) и Складчатый Урал расположены в 7-бальной зоне, а южная – в 6-бальной зоне сейсмической активности по шкале МСК-64.

Мониторинг сейсмической активности Южного Предуралья ведется нами сетью, состоящей из 4 сейсмостанций. Для уверенной интерпретации регистрируемых сейсмических сигналов построение сети сейсмостанций ведется с учетом следующих условий:

- расстояние между станциями для уверенной регистрации региональных и местных событий должно быть не более 30–50 км;
- местоположение станций целесообразно выбирать с учетом выявленных участков с аномально высокой сейсмичностью или участков, имеющих нарушения (разломы, техногенные изменения в геологической среде и т.п.);
- размещение приемных блоков станции на участке с геологическими условиями, характером

рельефа, высотой местности над уровнем моря, обеспечивающими качество поступающих сейсмических сигналов;

– удаленность от источников сейсмических помех (близость транспортных магистралей, промышленных объектов и т.п.);

– для принятия решения о размещении сейсмостанции на данном участке проводятся замеры сейсмических шумов с помощью мобильного сейсмологического комплекса;

– энергообеспечение, коммуникации, охрана.

С учетом этих требований и местных условий расположение сейсмостанций в созданной нами сети показано на рис. 7. Сеть сейсмостанций “Газ-сейсмика” позволяет регистрировать сейсмические события, имеющие естественную и техногенную природу.

Результаты мониторинга показали, что сейсмические события в контуре газоносности ОНГКМ расположены вблизи зон планетарно-тектонической трещиноватости, областей пересечения зон планетарно-тектонической трещиноватости, кольцевых зон. Таким образом, с достаточной долей уверенности можно утверждать, что эпицентры сейсмических событий тяготеют к напряженно-деформированным узлам блоково-разломной системы Южного Предуралья, испытывающих воздействие продолжительных природных и техногенных факторов. Сложившаяся структура земной коры и распределение эпицентров сейсмических событий за 2007–2009 гг. позволяет выполнить предварительное районирование территории по природной и техногенной сейсмической активности.

События, удаленные от зон техногенных нарушений (центральная и восточная части Предуральского краевого прогиба, юго-восток Прикаспийской синеклизы и др.), вероятно вызванные естественными тектоническими процессами, наблюдаются значительно реже в сравнении с техногенно нарушенными территориями. События, произошедшие в зонах техногенных нарушений геологической среды (добыча нефти и газа и др.), происходят более часто и имеют более сложную природу, они могут являться техногенными или природно-техногенными.

В условиях разрабатываемых месторождений изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды определяется природными и техногенными воздействиями. Южное Предуралье, находящееся на стыке трех геологических структур – Волго-Уральской антеклизы, Прикаспийской синеклизы и Предуральского краевого прогиба, имеет густую сеть тектонических разломов. Формирование и развитие геодинамических процессов Южного Предуралья идет под воздействием планетарных горизонтальных, вертикальных и вращательных движений блоков литосферы, создающих напряжения сжатия и растяжения различной силы в разных направлениях.

Сейсмические события природных геодинамических процессов проявляются на всей территории Южного Предуралья, Уральских гор и Зауралья. Сеть сейсмостанций “Газ-сейсмика” в среднем в год фиксирует 1–2 естественных фоновых сейсмических событий на 1000 км² со средней энергией порядка $2 \cdot 10^7$ Дж.

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 энергии.

При добыче твердых полезных ископаемых в шахтах и карьерах 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 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 занимает площадь около 2500 км², а уменьшение давлений в пластовых водах в результате 30-летней добычи газа произошло на площади более 3000 км². 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 километр. 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 с $1.78 \cdot 10^7$ Дж на прилегающих территориях до $8.14 \cdot 10^{10}$ Дж в центральной его части в расчете на 1000 км² (рис. 8) Интенсификация сейсмической активности в районе ОНГКМ свидетельствует о происходящей разгрузке напряжений в геологической среде.

Техногенные воздействия реализуют цепочку трансформации энергии: “воздействие → изменение напряженного состояния → деформация пород при изменении их внутреннего напряжения и свойств → перераспределение открытой трещиноватости (сжатие, растяжение и сдвиг) → выделение сейсмической энергии при изменении трещиноватости”.

Согласно закону сохранения энергии, уменьше-

ние давления в замкнутом объеме V месторождения на $\Delta P = 6 \text{ МПа} = 6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$ приводит к перераспределению энергии и увеличению потенциальной энергии напряжений в среде на $\Delta E_n = V \cdot \Delta P$.

Объем порово-трещинного пространства месторождения при средней пористости $K = 5\%$ составляет $V = 0.25 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$, а потенциальная энергия напряжений в среде увеличилась на $\Delta E = 0.15 \cdot 10^{18} \text{ Дж} \approx 10^{17} \text{ Дж}$.

Сейсмические станции сети "Газ-сейсмика" в районе месторождения за один год в среднем фиксируют 25 событий с выделившейся сейсмической энергией $2.2 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$. За 40 лет разработки месторождения выделившаяся сейсмическая энергия составила $\Delta E_c \approx 10^{13} \text{ Дж}$. За время эксплуатации месторождения сейсмической энергии выделилось в 1000 раз меньше накопленного напряжения. Это свидетельствует о возможности землетрясений с энергией до 10^{17} Дж .

Усиливающаяся техногенная нагрузка на геологическую среду все более обостряет проблемы экологической безопасности. Согласно существующим представлениям (Н.Н. Мельников, В.Е. Хаин и др.) 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.

МЕТОДИКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Для исследования пространственно-временной связи сейсмичности с морфоструктурой земной коры нами предложен алгоритм геодинамического районирования территорий [3], реализованный в виде компьютерной программы классификации морфоструктурных узлов на территории Южного Предуралья по уровню сейсмической активности [9, 10]. Эта классификация решает задачу сейсмического микрорайонирования и может быть применена в других регионах с похожими особенностями при наличии соответствующих данных. Входными данными для программы являются:

- карта Оренбургской области;
- координаты и свойства разломов, нарушений и морфоструктурных узлов;
- координаты и характеристики сейсмических событий;
- исходные экспертные данные.

Рассматривались лишь наиболее крупные разломы, а также новейшие морфоструктуры (складки основания) для территории исследования.

В рассматриваемой задаче мы имеем сравнительно небольшой набор классифицируемых объектов и число классов. Поэтому целесообразно использовать методы кластерного анализа без обучения с взвешенным расстоянием Хемминга [7].

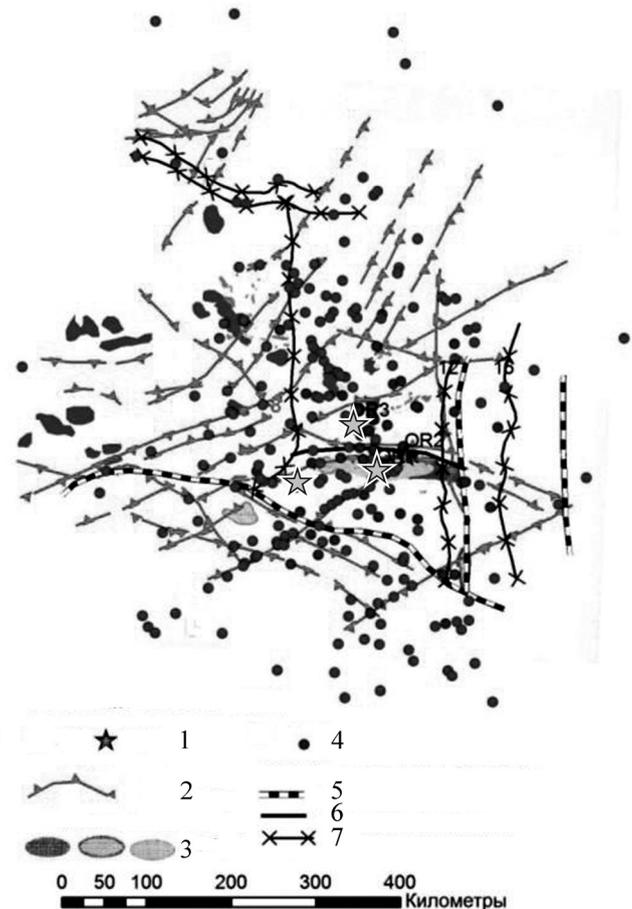


Рис. 7. Схема сейсмических событий на юго-востоке Восточно-Европейской платформы с сентября 2007 г. по апрель 2008 г.

1 – действующие сейсмостанции; 2 – структурообразующие разломы, флексуры, гравитационные и магнитные уступы; 3 – месторождения: нефтяные, нефтегазовые, газовые; 4 – сейсмические события; 5–7 – границы: 5 – антеклиз, синеклиз прогибов; 6 – сводов; 7 – впадин, бортов, прогибов.

В рассматриваемом случае проверку качества классификации и ее адекватность была проведена при помощи использования модели анализа ретроспективных данных. В результате в 80% узлов, отнесенных к уровню слабой сейсмической активности, в следующие полгода событий не наблюдалось. В 75% узлов, отнесенных к уровню сильной сейсмической активности, произошло одно или более сейсмических событий. Более полные результаты представлены в табл. 2.

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

Таблица 2 Результаты проверки качества классификации по уровням

Уровень сейсмической активности	Количество классифицированных узлов	Количество узлов, в районе которых произошли события	Процент от общего числа узлов	Количество узлов, в районе которых не произошли события	Процент от общего числа узлов
Низкий	5	1	20%	4	80%
Средний	1	1	100%	0	0%
Высокий	4	3	75%	1	25%

лось в результате добычи нефти и газа в сравнении с прилегающими территориями.

ВЫВОДЫ

Проводимый мониторинг территории Южного Предуралья сейсмологической сетью “Газсейсмика” показал, что большинство зафиксированных сейсмических событий имеют очаги на глубине до 10 км, где происходят основные техногенные воздействия при разработке месторождений нефти и газа в Южном Предуралье.

Изучение геологического и тектонического строения территории исследований позволило уточнить сеть разломов и тектонических нарушений. Анализ фиксируемых в Южном Предуралье сейсмических событий показывает, что эпицентры сейсмических событий располагаются в основном в зонах техногенных нарушений в геологической среде и тяготеют к зонам разломов и линеаментов.

Добыча углеводородов приводит к падению давлений пластовых вод и нарушению естественного гидродинамического равновесия в подземных водах. В районе месторождений углеводородов создались условия для нисходящего движения вод над его пластовыми водами и восходящего – под ними, а также увеличения латерального притока с прилегающих территорий.

Выявлено наличие гидродинамической связи между водоносными комплексами нижнего и верхнего гидродинамических этажей Южного Предуралья через сульфатно-галогенные отложения кунгура. Это подтверждается практически прямолинейной зависимостью давления в водоносных горизонтах палеозоя Бузулукской впадины от глубины их залегания.

Разработанная нами методика и программа для ЭВМ “Классификация морфоструктурных узлов на территории Южного Предуралья по уровню сейсмической активности” позволяют решать задачу сейсмического микрорайонирования и может быть применена в других регионах с аналогичными условиями.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантом РФФИ № 09-05-99010-р_офи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области / Под ред. А.С. Пантелеева. Оренбург: Оренбургское кн. изд-во, 1997. 272 с.
2. Гидрогеология СССР. Т. 43, Оренбургская область / Ред. Е.И. Токмачев. М.: Недра, 1972. 272 с.
3. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М.: Научный мир, 2000. 472 с.
4. Коноваленко С.С. Палеогеоморфология юго-востока Русской плиты (Оренбургская область) от рифея до турне в связи с поисками нефти и газа. В 2 частях. М.: Наука, 1999. Ч. I. 171 с., Ч. 2. –: Карты и разрезы. 30 л.
5. Нестеренко М.Ю., Бондаренко И.И., Влацкий В.В. Классификация морфоструктурных узлов территории Оренбургской области по уровню сейсмической активности средствами кластер-процедуры // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: мат-лы 3 Междунар. сейсмолог. школы. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 5.
6. Нестеренко Ю.М., Глянцев А.В. Влияние объектов нефтяной и газовой промышленности на гидрогеологические системы в нефтегазоносных бассейнах // Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование. Ч. 1. Оренбург–Пермь: Оренбургский НЦ УрО РАН, 2008. С. 229–231.
7. Нестеренко Ю.М., Глянцев А.В. Водоносные комплексы Бузулукской впадины и их взаимодействие // Нефтепромысловое дело. 2007. № 12. С. 30–33.
8. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю. Влияние добычи полезных ископаемых на геогидродинамику и сейсмичность в Южном Предуралье // Геологические опасности: мат-лы XV Всерос. конф. Архангельск: ББС МГУ, 2009 г., с. 333–335.
9. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Влацкий В.В. Система анализа и прогнозирования сейсмической активности во времени в условиях техногенных изменений геологической среды. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2009610751 от 02.02.2009 г. Роспатент, г. Москва.
10. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Влацкий В.В. татистическое прогнозирование сейсмичности морфоструктурных узлов. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2009610752 от 02.02.2009 г. Роспатент, г. Москва.

Рецензент Г.В. Гацков

The influence of hydrocarbon deposits exploitation on geodynamics and aquatic systems of southern Preurals**U. M. Nesterenko*, V. I. Dnistrjansky**, M. U. Nesterenko*, A. V. Gljantsev*****Geoecology Department of Orenburg Science Center, Urals Branch of RAS****“Gazprom extraction Orenburg”*

The geological technogeneus changes of oil and gas extraction areas in the South Ural are considered. The oil and gas extraction leads to reduce of formational pressure and change of water level. The interaction of seismic activity, hydrogeodynamics and technogeneus changes is detected. The hydrodynamic coupling of water-bearing horizons of South Ural is proved. The results of seismologic monitoring by net of seismic stations “Orenburg” are represented. The analyses and comparison of seismic sources with geologic and tectonic pattern are completed and the seismic risk zoning methodology is proposed.

Key words: *hydrogeodynamics, seismology, South Urals, technogeneus changes, oil and gas extraction.*