

Т.В. Чекушина, А.П. Бутолин, В.А. Щерба, К.А. Воробьев

ТЕХНОГЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В НЕФТЕГАЗОНОСНОМ ОРЕНБУРЖЬЕ

Аннотация. Все виды техногенной деятельности в течение в течение десятков и сотен лет в той или иной степени приводят к преобразованию локальных объемов приповерхностных слоев земной коры, формированию специфического пространства — геологической среды. Рассмотрены массивы горных пород, с которыми связаны месторождения нефти и газа в нефтегазоносном Оренбуржье. Сделана попытка детально исследовать причины и последствия необычных, часто непредсказуемых событий, таких как преобразования физико-химических характеристик подземных вод, изменение коллекторских свойств блоков и слоев осадочных, магматических и метаморфических пород. Рассмотрены изменения гидрогеодинамических и геофизических параметров горных пород, которые приводят к проявлению катастрофических событий — техногенным землетрясениям в наиболее освоенных и часто густо заселенных территориях со сложной городской и хозяйственной инфраструктурой. Систематизированы сведения об истории геологического развития, о геологическом строении и тектоническом режиме юго-востока Волго-Уральской антеклизы в пределах Оренбургского Приуралья. Приведены сведения о видах и степени техногенных нагрузок на геологические блоки и структуры в связи с разработкой нефтяных и газоконденсатных залежей, закачкой попутных пластовых вод и токсичных промышленных стоков в глубокие поглощающие слои карбонатных пород визейско-башкирского водоносного комплекса. Для оценки состояния геологической среды учтены результаты сейсмического мониторинга, проводимого отделом геоэкологии Оренбургского научного центра Уральского отделения РАН совместно с промышленным объединением по добыче газа «Оренбурггазпром». Рассмотрены возможности оценки дальнейшего изменения геологической среды в пределах изучаемого региона, исходя из современного состояния техногенного и геодинамического взаимного влияния.

Ключевые слова: месторождения нефти и газа, геологическая среда, техногенная нагрузка, техногенные землетрясения, промышленные стоки, сейсмические риски, сейсмическая опасность, сейсмический мониторинг.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-85-96

Введение

Освоение человеком приповерхностных слоев литосферы создает научную базу и расширяет круг проблем по обеспечению методически правильной постановки наблюдений и принятия адекватных решений. Но, как известно, никакие наблюдения и эксперименты не могут быть полностью независимыми от человека, а значит и абсолютно объективными и достоверными. Поэтому, на-

ряду с наблюдаемыми и фиксируемыми проявлениями техногенных преобразований в формирующейся геологической среде, необходимо методологически корректное теоретическое освоение изменяющегося в соответствии с природными тенденциями эволюции литосферного пространства. Но отсутствие однозначного соответствия между истинностью и практической эффективностью знания, на что указывают и физики, и философы,

и специалисты фундаментальных проблем геологии, ведет к необходимости дальнейшей систематизации данных о взаимодействии геологической среды и приповерхностных слоев литосферы, подвергшихся техногенному воздействию [12].

Объекты и методы

Формирование геологической среды на территории Южного Приуралья началось с момента использования человеком природного камня, природных вод, руд металлов и углеводородов в практических целях. С совершенствованием техники и технологий добычи и переработки полезных ископаемых, технологий переработки сырья, а также использование недр в качестве подземных хранилищ, для прокладки трубопроводов, строительство наземных магистралей по перемещению гигантских объемов вещества недр, строительство водохранилищ. В связи с этим блоки горных пород земной коры Южного Приуралья становятся областью техногенных и природных аномальных преобразований, которые приводят к изменению качества поверхностных и подземных пресных вод, атмосферного воздуха, условий обитания растений, животных, микрофауны и микрофлоры, становятся причиной эпидемий, психических заболеваний и т.п., в том числе таких катастрофических явлений, как техногенные землетрясения.

Необходимо отметить, что прогнозные оценки сейсмического потенциала сейсмоактивных областей, обеспеченных текущей сейсмологической информацией и хорошо изученных в тектоническом и геодинамическом отношении, остаются непредсказуемыми по интенсивности и времени проявления [9]. Усиливающаяся техногенная нагрузка на приповерхностные слои литосферы в районах нефте- и газосодержащих геологических структур Оренбургского Приуралья, может

послужить причиной техногенно-природных сейсмических событий с низкой степенью предсказуемости. Примером тому являются землетрясения в Татарстане, в Западной Сибири, на Северном Кавказе и их экологические последствия [3]. Все это обуславливает необходимость проведения оценки геотехногенной опасности при проектировании и эксплуатации нефтегазовых толщ в крупных блоках трещиноватых осадочных пород и зон тектонических разломов. Конечно, эти изменения несут фрактальный характер и в целом не могут повлиять на региональный водообмен и тектонический режим. Учитывая, что фрактальность характеризует режим системы в целом, нельзя сбрасывать со счетов геозекологические изменения в зоне активного водообмена, динамику тепловых и газовых эманацій недр, вторжение законтурных пластовых вод за счет падения пластовых давлений. Возможны также уменьшение объема порово-трещинного пространства при уплотнении трещин в толщах пород, или пластичные деформации каркаса пород-коллекторов. Наконец, техногенная деятельность на земной поверхности — взрывы в карьерах, скважинах, на технологических установках могут ослаблять или усиливать напряженное состояние техногенно-деформированных блоков, а также, что особенно важно, афтершоки сильных и катастрофических землетрясений в Альпийско-Гималайской горноскладчатой стране.

Обсуждение результатов

По современным представлениям тектонофизики в очагах землетрясений развиваются преимущественно деформации скалывания [11]. Здесь роль поровых жидкостей может проявиться двояко. При высоком давлении порово-трещинных вод уменьшается трение на плоскости скола, как и для покровных надвигов. При высоких поровых давлении-

ях деформации скалывания могут произойти под действием относительно малых тектонических напряжений. Поэтому изменения в геологической среде могут послужить «спусковым крючком» для сейсмического разрыва.

Подтверждением являются техногенные землетрясения, наблюдаемые в странах Европы и США. В частности землетрясения, обусловленные закачкой сточных вод в поглощающие горизонты в штатах Канзас и Оклахома [15, 16], микроземлетрясения, связанные разработкой месторождений сланцевого газа и сланцевой нефти, в результате широкого использования методов фрекинга в штатах Алабама, Арканзас, Колорадо, Канзас, Майями, Нью-Мексико, Огайо, Оклахома и Техас [14, 17]. Некоторое снижение техногенной сейсмической активности достигается за счет уменьшения объема закачки сточных вод в пласты горных пород или сокращения добычи нетрадиционной нефти и газа [18].

Вызванные землетрясения в большинстве случаев происходят в областях с более или менее высокой собственной сейсмичностью. Но опыт эксплуатации нефтяных и газовых месторождений на территории Татарстана, Башкортостана, Оренбургской области и Западной Сибири, где сейсмические события отмечаются уже с нарастающей частотой, указывает на формирование очагов геологической опасности [2]. Упомянутые землетрясения произошли сравнительно недавно, поэтому пока не выявлены отдаленные сейсмические последствия изменений напряженно-деформационных состояний блоков порово-трещинных пород.

Таким образом, структурные блоки земной коры с выявленными в них очагами землетрясений и повторяющимися землетрясениями с любой частотой можно относить к геологически опасным.

Для объяснения геодинамических взаимодействий в регионе наиболее естественным является использование теории тектоники литосферных плит и глубинной геодинамики. Урало-Монгольский сегмент глобального подвижного пояса отделяет европейскую часть Евразийской плиты от азиатской, и горноскладчатый Урал является граничной зоной между юго-восточной окраиной Восточно-Европейской платформы и южной частью Западно-Сибирской плиты.

Юго-восточная окраина Восточно-Европейской платформы занимает большую часть Южного Приуралья и представляет собой неоднородный комплекс архейско-протерозойских пород в кристаллическом фундаменте, перекрытых более молодыми толщами осадочных формаций мощностью от 1,6 км на севере до 15 км на юге. Мантия располагается под консолидированной корой на глубине около 30 км (рис.1).

Рассматриваемая территория Оренбургского Приуралья входит в Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию. Эта территория испытывает высокое техногенное воздействие на недра в связи с большими объемами извлекаемого углеводородного сырья. До настоящего времени — добыча газа удерживается на уровне 20 млрд м³, нефти — свыше 12,0 млн т, конденсата — около 0,7 млн т. Из 200 с лишним месторождений нефти, более 80% относится к категории мелких с запасами менее 1 млн т. Около 95% запасов природного газа сосредоточено в продуктивных толщах Оренбургского НГКМ, при этом разработанность продуктивных толщ превышает 60% [7]. Нами предпринята попытка анализа и систематизации геологических преобразований сложно эволюционирующих природных систем, процессов, которые характеризуются широким спектром взаимосвязанных природных техногенных элементов.

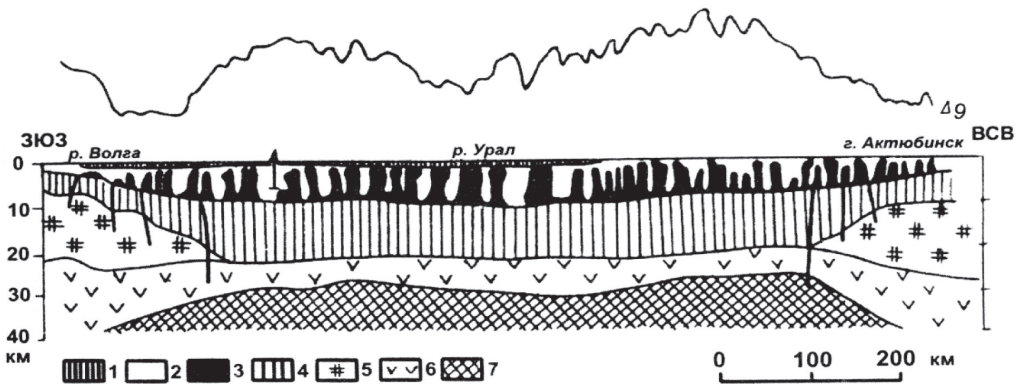


Рис. 1. Геологический разрез через Прикаспийскую синеклизу, по В.Л. Соколову, 1970. Юго-восток Восточно-Европейской платформы [6]: 1 — отложения верхнего плиоцена; 2 — отложения палеогена, мезозоя и пермотриаса; 3 — соляные штоки и гряды; 4 — подсолевой осадочный комплекс; 5–6 — консолидированная кора (5 — гранитный, 6 — базальтовый слои); 7 — верхняя мантия

Fig. 1. Geological section of the Precaspian syncline, by V. L. Sokolov, 1970. South-east of the East European Platform [6]: 1—Upper Pliocene sediments; 2—Palaeogene, Mesozoic and Permian-Triassic formations; 3—salt walls and ridges; 4—subsalt sediments; 5–6—consolidated crust (5—granite; 6—basalt); 7—top mantle

Юго-восточный блок Волго-Уральской антеклизы характеризуется высокой техногенной нагрузкой на недра. Здесь пробурено несколько тысяч скважин различного назначения, причем при проходке соленосных толщ отмечаются прихваты и смятие буровых колонн, потери циркуляции буровых растворов при проходке карбонатных толщ. На промыслах действуют установки комплексной подготовки газа (УКПГ), подготовки нефти (УПН), дожимные компрессорные станции по интенсификации добычи газа, проложена густая сеть нефте- и газопроводов. Добыча нефти и газа на месторождениях сопровождается выносом попутных пластовых вод и образованием на УКПГ и УПН трудноочищаемых промстоков, содержащих токсичные компоненты в концентрациях, представляющих опасность для качества вод природных водоносных комплексов. Эти промышленные стоки на ряде месторождений закачиваются обратно в продуктивные толщи и в глубокие водоносные горизонты под нефтяные и газовые залежи для поддержания пластового давления. Таким образом, в техногенез вовлечены почвенный по-

кров, надсолевой, солевой и подсолевой комплексы пород [2]:

- в подсолевые палеокарстово-трещинные интервалы известняков нижнего карбона закачиваются попутные пластовые воды и промышленные стоки;
- из девонских, каменноугольных и нижнепермских толщ добываются газ, конденсат и нефть;
- солевая толща используется в технологических целях (для строительства подземных хранилищ жидкостей и газа и емкостей низкотемпературной сепарации газа), добычи каменной соли;
- надсолевая толща является местом размещения промышленных, минеральных пресных вод питьевого качества, строительных материалов (пески, гравий, известняки, глины и т.п.);
- приповерхностные слои подвергаются интенсивному преобразованию строительством зданий и промышленных сооружений, автомобильных дорог, трубопроводов, карьеров, производятся наземные и подземные взрывы различной мощности и т.п.

В рассматриваемых блоках земной коры, история геологического развития

которых более миллиарда лет, и в продуктивных толщах, сформировавшихся за последнюю сотню миллионов лет, и на земной поверхности в течение последних 40–70 лет произошли локальные и широкомасштабные геотехногенные преобразования палеокарстовых порово-трещинных пород и активизировались экзогенные геологические процессы. В отдельных блоках осадочных толщ объемом до 12 000 км³ изменились пластовые давления, химический состав пластовых водных растворов, структура порово-трещинного пространства, ускорились процессы эрозии и заиливания водоемов и характер сейсмических событий [9]. Тектонические блоки юго-восточного склона Волго-Уральской антеклизы в пределах Оренбургского Приуралья прошли длительный путь геологического развития. В разные геологические эпохи здесь проявились преимущественно гумидный и аридный типы широтно-зонального литогенеза, что привело к формированию терригенно-карбонатных и сульфатно-галогенных комплексов. Современный литогенез широко представлен аридным и, в меньшей степени, гумидными типами [10].

Фундамент в пределах юго-восточной окраины Волго-Уральской антеклизы представляет собой коллаж разделенных разломами разновозрастных блоков докембрийских комплексов, в основном позднего архея, разнонаправленные движения которых в течение фанерозоя, в сочетании с широтно-климатической зональностью, определяли типы и особенности тектонического режима структур осадочного чехла.

Общие положения флюидогеодинамики осадочных древних бассейнов говорят о том, что артезианские бассейны имеют длительную и сложную геологическую историю, формируются и существуют в этапы тектонической стабилизации при изостатическом выравнивании ли-

тосферы. В таких бассейнах проявляется определенный тип физико-химической (температура, минерализация, ионно-солевой и газовый состав) и гидродинамической (области питания, пластовые давления, направленность глубинного стока) зональностей, как по площади, так и по разрезу [1].

В настоящее время остается недостаточно изученной роль фактора геологического времени, в масштабах которого техногенное вмешательство последних двух столетий — это почти мгновенное и резкое нарушение горных и пластовых давлений, физико-химических равновесий, напряжений в жестком минеральном скелете горных пород, фазовых состояний, аномалий полей гравитации, электромагнитных и других энергетических полей в прискважинном пространстве.

Говоря о растянутых по продолжительности во времени геологических процессах, мы имеем дело и с гигантскими инертными массами (блоками) земной коры. Последствия энергоемкой и крупномасштабной антропогенной деятельности остаются недостаточно изученными, что отражается на качестве геоинформационного фонда и приводит к ошибкам в проектировании, в прогнозе, получении научно обоснованных выводов. Наибольшие изменения в сложных многофазовых системах следует ожидать при разработке нефтяных и гигантских газовых месторождений углеводородов. Отдельные исследователи фиксируют на таких месторождениях горные удары, землетрясения, искривления стволов скважин, разрывов обсадных и технических колонн, перетоки газовых и жидких углеводородов и пластовых рассолов по затрубным и межтрубным нарушениям скважин в верхние водоносные горизонты, прорывы газа из продуктивной толщи в атмосферу, что квалифицируется как геотехногенные аварии и катастрофы.

Техногенная деятельность на освоенных и промышленно-развитых территориях требует комплексного изучения природных и техногенных факторов состояния геологической среды и среды обитания живых организмов. При этом ведущая роль остается за направленностью развития более устойчивых инертных блоков литосферы, и здесь следует говорить об экологических функциях литосферы. Блоки земной коры нижнего гидрогеодинамического этажа, вовлеченные в техногенез, образуют природно-техногенные системы, подчиняющиеся общим гидрогеодинамическим и гидрогеохимическим закономерностям. И если в ненарушенном состоянии природные системы имели сбалансированный температурный, газовый и химический режим литосферы атмосферы, гидросферы и биоты, то техногенез изменяет их, и появляется техногенная составляющая, которая может проявиться и через техногенные сейсмические события [3].

На отдельных месторождениях, например, на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении, объемы извлеченного вещества становятся сопоставимыми с объемами водонапорной системы в контуре питания месторождений. В результате формируются зоны напряженно деформированных толщ горных пород за счет деформаций объемов и уплотнения порово-трещинного пространства. Внедрение сейсмического мониторинга на юго-восточном склоне Волго-Уральской антеклизы по инициативе и под руководством отдела геоэкологии Уральского отделения РАН позволяет в реальном времени изучать и анализировать степень изменений напряженно-деформационного состояния геологической среды на территории Оренбургского Приуралья [7, 8].

Районирование Южного Приуралья является первым и основным этапом в оценке экологической опасности и сейс-

мического риска в регионе. Анализ опубликованных материалов по техногенным сейсмическим событиям показывает, что разработка месторождений в деформационно-напряженных массивах земной коры сопровождается сейсмическими событиями, связанными с внутренней энергией слоев и блоков вмещающих пород, превышением горизонтальных напряжений над вертикальными, наличием зон максимального изменения скоростей современных движений земной коры, неравномерным распределением по площади и глубине касательных тектонических напряжений [2].

Кроме того, установлено, что сейсмические события проявляются неравномерно в пространстве и во времени, — число событий возрастает в определенные отрезки времени разной продолжительности, и обусловлено это влиянием на напряженное состояние горных пород вариаций солнечной активности, лунно-солнечных приливов, прецессий и нутаций земной оси вращения и т.п. Проблема прогноза землетрясений является не только научной или технической, но и социальной. Третье обстоятельство, скорее всего, и стимулирует исследования по изучению предвестников землетрясений.

Для Оренбургского Приуралья, где эксплуатируется более 200 месторождений нефти и газа, проложены тысячи километров трубопроводов, располагаются крупные объекты по подготовке и переработке газа и конденсата, комплексное физико-химическое, геолого-геофизическое и сейсмологическое изучение земной коры является актуальным. При изучении техногенных систем, связанных с разработкой таких крупных месторождений, как Оренбургское, необходимо использовать достижения наук о Земле, полученные данные о геомеханических взаимодействиях массивов горных по-

род, о структуре и механике техногенных систем в земной коре и на земной поверхности. Все эти сведения находятся в определенных связях, установленных, возможно, по воле человека, но остаются абсолютно независимыми от него. Здесь речь идет о природных и техногенных системах, взаимодействие которых изучается с целью предупреждения возможных экологических рисков и обеспечения разумно безопасного и эффективного освоения недр.

На основе регистрации сейсмических событий малой магнитуды, тяготеющих к тектоническим разломам и деформационно-напряженным зонам, по распределению полей проницаемости и влаго- и газоёмкости пород выделяются и оконтуриваются поля и блоки возможных предельных напряжений. Мониторинг сейсмических событий и положений сейсмических очагов природного и техногенного происхождения позволит прогнозировать гибкие профилактические меры по предупреждению возможных сейсмических событий с существенной магнитудой.

Методы изучения современных тектонических процессов дополняют традиционные способы изучения геологического строения и способствуют большему пониманию процессов, происходящих в земных недрах. Использование дистанционного зондирования в связке с геоинформационными технологиями по изучаемой территории позволяет наиболее эффективно изучать современные тектонические процессы. С помощью полученных данных можно дешифровать новейшие разрывные нарушения, выделять морфоструктуры, выявлять современные геодинамические процессы [4].

Как известно, в результате инженерной деятельности в верхних слоях земной коры и на земной поверхности нарушается природное равновесие напряженно-деформационного состояния блоков

горных пород, испытывающих техногенное воздействие, и становится возможным их разрыв, приводящий к землетрясению. Очаги вызванных землетрясений, вероятно, формируются в зонах нарушения гравитационного поля земной коры под действием гидростатических нагрузок, либо при повышении давления порово-трещинных вод.

Механизм воздействия порово-трещинных вод на блоки горных пород в очагах техногенных землетрясений, в общем, мало отличается от воздействия в естественных очагах. Но влияние подземных вод на формирование напряженно-деформационных сгущений, порождаемых естественными или техногенными силами, изучено еще недостаточно. Для глубинных зон земной коры, где поровое давление подземных вод приближается к величине геостатической нагрузки, трение по поверхности сместителя может снизиться до нуля. Вода при таких давлениях становится мощным фактором тектонических подвижек и землетрясений. Массивы горных пород с повышенной пористостью и водонасыщенностью вследствие их низкой плотности под действием конвективных сил приобретают момент силы и стремятся подняться в верхние горизонты земной коры. Но иногда замкнутые объемы водонасыщенных пород могут погружаться на большую глубину и там, в области высоких температур, создавать очаги высоких тектонических энергий.

Кристаллический фундамент Восточно-Европейской платформы характеризуется сложной внутренней структурой и разноуровневым блоковым строением. На его поверхности выделяется промежуточный комплекс рифейских, вендских, ордовикских, силурийских и нижнедевонских образований, на которых со стратиграфическим несогласием залегают осадочные толщи среднего и верхнего палеозоя и мезо-кайнозоя. В процес-

се длительного развития 1600 млн лет назад завершилось формирование кристаллического фундамента платформы [11]. Современная структура фундамента создана последующей тектонической переработкой. В карельский, каледонский и герцинский тектонические циклы земная кора расчленялась разломами на отдельные блоки с обособленным развитием. Мезозойский, альпийский и неотектонический циклы унаследовано усложнили структуру региона, были заложены тектонически активные глубинные разломы, флексуры, соляной тектонический комплекс отложений.

Блоки геологической среды нижнего гидрогеодинамического этажа вовлечены в техногенез и образуют природно-техногенные системы, подчиняющиеся общим физико-химическим закономерностям — гидрогеодинамическим, гидрогеохимическим, гравитационным по всему разрезу. В ненарушенном состоянии они контролировали температурный, га-

зовый, химический режим биоты, атмосферы, гидросферы, механическое упруго-напряженное состояние верхних слоев земной коры. В возбужденном состоянии этот процесс не прекращается, но изменяется его динамика. Изменяется природная составляющая нижнего гидрогеодинамического этажа, но здесь появляется и техногенная составляющая, связанная с перераспределением физико-химических параметров.

Наблюдаемая связь нефтегазоносных структур с разломами и дизъюнктивными дислокациями глубокого заложения указывает на развитие дизъюнктивных дислокаций как в осадочном чехле, так и в кристаллическом фундаменте. Часть из них принадлежит к стационарной сети нарушений и образует на территории исследований «структурную решетку» [5]. В платформенной части Оренбургской области распространены субширотные разломы, дуговые разломы и пояса разломов и диагональные разрывные нару-

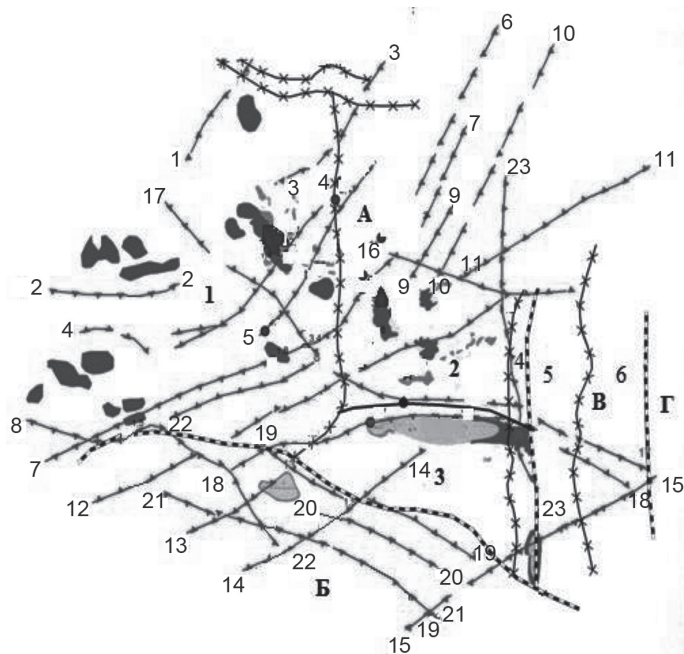


Рис. 2. Карта структурно-тектонических элементов Оренбургского Предуралья [5]
Fig. 2. Map of tectonic structural elements in the Orenburg's Pre-Urals [5]

шения, среди которых преобладают разломы северо-северо-восточного простирания (рис. 2). Флексуры обрамления Прикаспийской впадины разделены на отрезки диагональными нарушениями. Такая же зона диагональных нарушений отмечается между Оренбургским валом и Карачаганакским поднятием.

Дуговые системы разломов образуют три-четыре пояса и соответствуют положительным полосовым магнитным аномалиям фундамента по контуру юго-восточного погружения Жигулевско-Оренбургского свода.

В рассматриваемом регионе выделены и сквозные транзитные структурные зоны, проходящие между блоками или выступами фундамента часто дизъюнктивной природы. К таким трансрегиональным зонам относятся Ашкадарская, Ик-Иртекская, Самарская [8]. В бортовой зоне Предуральского прогиба также отмечены разломные субширотные зоны. Диагональные разломы опережают и северный борт Прикаспийской впадины. Неотектоническая активность в течение неоген-четвертичного времени возобновляет и формирует новые трещиноватые зоны, которые могут стать причиной локальных сейсмических событий.

Анализ результатов обследований техногенных землетрясений показал, что накопленная в массиве горных пород деформация реализуется в виде подвижек по уже существующим разломам. Согласно результатам проведенных экспериментов, переход участка разлома в метастабильное состояние сопровождается снижением его динамической сдвиговой жесткости. Процесс изменения механических свойств контакта начинается задолго до того, как регистрируется макроскопическое перемещение берегов разлома. Этот эффект может быть обнаружен инструментально и использован в качестве основы развиваемого

нового подхода к мониторингу техногенно-тектонических землетрясений [14].

В комплексе работ по прогнозу сейсмической опасности можно использовать результаты повторных исследований тепловых свойств пород в скважинах. По каротажным диаграммам термометрических исследований в скважине Ордовик-1 в интервалах глубин 0–4976 м установлено, что геотермический градиент по стволу скважины изменяется от 0,7–0,93 °С до 2,7–2,9 °С. Причем увеличение геотермического градиента отмечается в интервалах глубин от 1800–1900 м до 3000–3100 м. Глубже геотермические градиенты вновь снижаются до 0,43–1,00 °С [2].

Заключение

Проведенное обсуждение позволяет сделать оценку роли техногенного воздействия на естественный характер геодинамических процессов в верхних слоях литосферы, где ведется активная добыча нефти и газа. Необходимо продолжить исследования по разработке методики, основанной на систематизации комплексных признаков сейсмической опасности.

Мониторинг сейсмических событий по сети сейсмических станций позволит учитывать сейсмичность при выборе технологических режимов добычи полезных ископаемых, планировании строительства и эксплуатации инженерных сооружений, снизить вероятность чрезвычайных ситуаций и своевременно информировать население о сейсмической активности в регионе. Внедрение сейсмического мониторинга в нефтегазоносном Оренбуржье позволяет в реальном времени изучать и анализировать степень изменений напряженно-деформационного состояния геологической среды в регионе, а также влияние этих изменений на характер и степень преобразований геологической среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутолин А. П., Щерба В. А. Геоэкологическое состояние и особенности зональности подземных вод в нефтегазоносном Оренбуржье / Геоэкологические проблемы современности: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 9. — Владимир: Изд-во ВГУ, 2007. — С. 15—25.
2. Бутолин А. П., Щерба В. А. О возможности распознавания признаков геодинамически неустойчивых техногенно нарушенных блоков геологической среды в Оренбургском Приуралье / Геология в школе и в вузе: Геология и цивилизация. Материалы VIII Международной конференции. Т. I. Науки о Земле / Под общ. ред. Е. М. Нестерова. — СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2013. — С. 222—228.
3. Бутолин А. П., Щерба В. А. К вопросу об оценке техногенной сейсмической опасности при освоении месторождений углеводородов // Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. Т. XIII / Под ред. Е. М. Нестерова, В. А. Снытко. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. — С. 59—65.
4. Вахнин М. Г. Влияние современных тектонических напряжений гряды Чернышева на нефтегазоносность локальных структур / Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Материалы докладов четвертой всероссийской конференции с международным участием. 3—8 октября 2016 г., Москва. Т. 2. — М.: ИФЗ РАН, 2016. — С. 16—20.
5. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. — Оренбург: Оренб. книжн. изд-во, 1977. — 272 с.
6. Кашников Ю. А., Ашихмин С. Г., Букин В. Г. и др. Деформационные предвестники техногенных землетрясений при разработке месторождений углеводородов // Записки Горного института. — 2010. — Т. 188. — С. 145—152.
7. Нестеренко М. Ю., Никанорова О. А. Техногенная сейсмическая активность в районах нефтегазодобычи в Южном Предуралье и ее статистический анализ // В мире научных открытий. — 2013. — № 6.1 (42). — С. 102—117.
8. Нестеренко М. Ю., Нестеренко Ю. М., Соколов А. Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Монография. — Екатеринбург: УрО РАН, 2015. — 186 с.
9. Планета Земля. Энциклопедический справочник. Тектоника и геодинамика / Под ред. Л. И. Красного и др. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. — 652 с.
10. Самарина В. С., Гаев А. Я., Нестеренко Ю. М. и др. Техногенная метаморфизация химического состава природных вод (на примере эколого-гидрогеохимического картирования бассейна р. Урал, Оренбургская область). — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1999. — 444 с.
11. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. — М.: Изд-во КДУ, 2005. — 560 с.
12. Хаин В. Е., Рябухин А. Г., Наймарк А. А. История и методология геологических наук. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 416 с.
13. Adushkin V. V., Kishkina S. B., and Kocharyan G. G. New approach to monitoring induced earthquakes. *Journal of Mining Science*, Vol. 53, No. 1, 2017. p. 3—14.
14. Choy G. L., Rubinstein J. L., Yeck W. L., McNamara D. E., Mueller C. S., Boyd O. S. (2016). A Rare Moderate-Sized (Mw 4.9) Earthquake in Kansas: Rupture Process of the Milan, Kansas, Earthquake of 12 November 2014 and Its Relationship to Fluid Injection, *Seismol. Res. Letters*. Vol. 87. p. 1—9.
15. Christina Nunez. Tremors linked to oil and gas activities were addressed by two key U.S. agencies this week. *National Geographic*. PUBLISHED MARCH 29, 2017. New USGS Maps Show Human-Induced Earthquakes.
16. *The total number of Americans at high risk from both natural and human-induced earthquakes this year is about 4 million*. Mar 03, 2017.
17. Mark D. Petersen Charles S. Mueller Morgan P. Moschetti Susan M. Hoover Allison M. Shumway Daniel E. McNamara Robert A. Williams Andrea L. Llenos William L. Ellsworth Andrew J. Michael Justin L. Rubinstein Arthur F. McGarr Kenneth S. Rukstales. One-Year Seismic-Hazard Forecast for the Central and Eastern United States from Induced and Natural Earthquakes. *Seismological Research Letters* (2017) 88 (3): 772—783.
18. Oil and gas drilling triggers man-made earthquakes in eight States, USGS finds. <https://www.theguardian.com/world/2015/apr/23/oil-gas-drilling-triggers-man-made-earthquakes-usgs>. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Чекушина Татьяна Владимировна — кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: geotech-2003@mail.ru, Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
Бутолин Александр Панфилович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Оренбургский государственный университет,
Щерба Владимир Афанасьевич¹ — кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
Воробьев Кирилл Александрович¹ — бакалавр,
¹ Российский университет дружбы народов, Инженерная академия.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2019. No. 2, pp. 85–96.

Technogenic transformations of the geological environment in the oil and gas Orenburg industry region

Chekushina T.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Leading Researcher, e-mail: geotech-2003@mail.ru, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia,
Butolin A.P., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia,
*Shcherba V.A.*¹, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor,
*Vorobiev K.A.*¹, Student,
¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Engineering Academy, 117198, Moscow, Russia.

Abstract. All kinds of technogenic activity during tens and hundreds of years to some extent lead to the transformation of local volumes of near-surface layers of the earth's crust, the formation of a specific space — the geological environment. The object of close attention in this article are arrays of rocks, which are associated with oil and gas fields in the oil and gas bearing Orenburg region. An attempt was made to investigate in detail the causes and consequences of unusual, often unpredictable events, such as the transformation of physical and chemical characteristics of groundwater, the change in the reservoir properties of blocks and layers of sedimentary, magmatic and metamorphic rocks. The changes in hydrogeodynamic and geophysical parameters of rocks that lead to the manifestation of catastrophic events — technogenic earthquakes in the most developed and often densely populated areas with a complex urban and economic infrastructure are considered. The article systematizes information about the history of geological development, the geological structure and tectonic regime of the southeast of the Volga-Urals antecline within the Orenburg Pre-Ural region. Information is given on the types and degree of man-made loads on geological blocks and structures in connection with the development of oil and gas condensate deposits, the injection of associated formation waters and toxic industrial effluents into deep absorbing layers of carbonate rocks of the Viseisk-Bashkir aquiferous complex. To assess the state of the geological environment, the results of seismic monitoring conducted by the Department of Geoecology of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in conjunction with the industrial association for gas production "Orenburggazprom" are taken into account. The possibilities of estimating further changes in the geological environment within the region under study are considered, proceeding from the current state of technogenic and geodynamic mutual influence.

Key words: oil and gas fields, geological environment, man-caused load, man-made earthquakes, industrial wastewater, seismic risks, seismic hazard, seismic monitoring.

DOI: 10.25018/0236-1493-2019-02-0-85-96

REFERENCES

1. Butolin A. P., Shcherba V. A. Geoekologicheskoe sostoyanie i osobennosti zonal'nosti podzemnykh vod v neftegazonosnom Orenburzh'e [Geoecology and specific zonal distribution of groundwater in the oil- and gas-bearing Orenburg Region], *Geoekologicheskie problemy sovremennosti*: Interuniversity collection of scientific works. Issue. 9. Vladimir, Izd-vo VGU, 2007, pp. 15–25. [In Russ].

2. Butolin A.P., Shcherba V.A. O vozmozhnosti raspoznavaniya priznakov geodinamicheski neustoychivyykh tekhnogenno narushennykh blokov geologicheskoy sredy v Orenburgskom Priural'e [Identifiability of geodynamically unstable and anthropogenically disturbed geological blocks in the Orenburg's Pre-Urals]. *Geologiya v shkole i v vuzе: Geologiya i tsivilizatsiya. Materialy VIII Mezhdunarodnoy konferentsii*. Vol. 1. Nauki o Zemle, Saint-Petersburg, Izd-vo RGPU im. A.I. Gertsena, 2013, pp. 222–228. [In Russ].

3. Butolin A.P., Shcherba V.A. K voprosu ob otsenke tekhnogennoy seismicheskoy opasnosti pri osvooenii mestorozhdeniy uglevodorodov [Assessment of induced seismic hazard in hydrocarbon development], *Geologiya, geoekologiya, evolyutsionnaya geografiya*: Collective monograph. Vol. XIII. Nesterov E.M., Snytko V.A. (Eds.), Saint-Petersburg, Izd-vo RGPU im. A.I. Gertsena, 2014, pp. 59–65.

4. Vakhnin M.G. Vliyaniye sovremennykh tektonicheskikh napryazheniy gryady Chernysheva na neftegazonosnost' lokal'nykh struktur [Influence of modern tectonic stresses of the Chernyshev ridge on oil and gas content of local structures], *Tektonofizika i aktual'nye voprosy nauk o Zemle. Materialy dokladov chetvertoy vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. 3–8 October 2016, Moscow, Vol. 2], Moscow, IFZ RAN, 2016, pp. 16–20. [In Russ].

5. *Geologicheskoe stroeniye i neftegazonosnost' Orenburgskoy oblasti* [Geological structure and oil-and-gas potential of the Orenburg Region], Orenburg, Orenburgskoe knizhnoye izd-vo, 1977, 272 p.

6. Kashnikov Yu. A., Ashikhmin S. G., Bukin V. G. Deformatsionnye predvestniki tekhnogennykh zemletryaseniy pri razrabotke mestorozhdeniy uglevodorodov [Deformation precursors of induced earthquakes in hydrocarbon development], *Zapiski Gornogo instituta*. 2010. Vol. 188, pp. 145–152. [In Russ].

7. Nesterenko M. Yu., Nikanorova O. A. Tekhnogennaya seismicheskaya aktivnost' v rayonakh neftegazodobychi v Yrzhnom Predural'e i ee statisticheskiy analiz [Induced seismic activity in oil and gas production areas in the South Pre-Urals and the statistics analysis], *V mire nauchnykh otkrytiy*. 2013. no 6.1 (42), pp. 102–117. [In Russ].

8. Nesterenko M. Yu., Nesterenko Yu. M., Sokolov A. G. Geodinamicheskie protsessy v razrabatyvaemykh mestorozhdeniyakh uglevodorodov (na primere Yuzhnogo Predural'ya). Monografiya [Geodynamic processes in hydrocarbon fields under mining (in terms of the South Pre-Urals). Monograph], Ekaterinburg, Uro RAN, 2015, 186 p.

9. *Planeta Zemlya. Entsiklopedicheskiy spravochnik*. Tektonika i geodinamika. Pod red. L. I. Krasnogo [Planet Earth. Encyclopedic book of reference. Tectonics and geodynamics. Krasny L. I. (Ed.)], Saint-Petersburg, Izd-vo VSEGEI, 2004, 652 p.

10. Samarina V. S., Gaev A. Ya., Nesterenko Yu. M. *Tekhnogennaya metamorfizatsiya khimicheskogo sostava prirodnykh vod (na primere ekologo-gidrogeokhimicheskogo kartirovaniya basseyna r. Ural, Orenburgskaya oblast')* [Induced metamorphization of chemical composition of groundwater (in terms of the eco-hydro-geochemical mapping of the Ural River basin, Orenburg Region)], Ekaterinburg, Izd-vo Uro RAN, 1999, 444 p.

11. Khain V. E., Lomize M. G. *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with geodynamics elements], Moscow, Izd-vo KDU, 2005, 560 p.

12. Khain V. E., Ryabukhin A. G., Naymark A. A. *Istoriya i metodologiya geologicheskikh nauk* [History and methodology of geological sciences], Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2008, 416 p.

13. Adushkin V. V., Kishkina S. B., and Kocharyan G. G. New approach to monitoring induced earthquakes. *Journal of Mining Science*, Vol. 53, No. 1, 2017. p. 3–14.

14. Choy G. L., Rubinstein J. L., Yeck W. L., McNamara D. E., Mueller C. S., Boyd O. S. A Rare Moderate-Sized (Mw 4.9) Earthquake in Kansas: Rupture Process of the Milan, Kansas, Earthquake of 12 November 2014 and Its Relationship to Fluid Injection, *Seismological Research Letters*. 2016. Vol. 87. p. 1–9.

15. Christina Nunez. Tremors linked to oil and gas activities were addressed by two key U.S. agencies this week. *National Geographic*. Published March 29, 2017. New USGS Maps Show Human-Induced Earthquakes.

16. *The total number of Americans at high risk from both natural and human-induced earthquakes this year is about 4 million*. Mar 03, 2017.

17. Mark D. Petersen Charles S. Mueller Morgan P. Moschetti Susan M. Hoover Allison M. Shumway Daniel E. McNamara Robert A. Williams Andrea L. Llenos William L. Ellsworth Andrew J. Michael Justin L. Rubinstein Arthur F. McGarr Kenneth S. Rukstales. One-Year Seismic-Hazard Forecast for the Central and Eastern United States from Induced and Natural Earthquakes. *Seismological Research Letters*. 2017. Vol. 88 (3): 772–783.

18. *Oil and gas drilling triggers man-made earthquakes in eight States, USGS finds*. <https://www.theguardian.com/world/2015/apr/23/oil-gas-drilling-triggers-man-made-earthquakes-usgs>.