А. П. Бутолин /к. г-м. н./

Оренбургский, государственный университет, г. Оренбург, Российская Федерация
e-mail: geologia/osu@mail.ru

**Т. В. Чекушина /д. э. н., к. т. н./,
В. А. Щерба /к. г-м. н./, К. А. Воробьев**

Российский университет дружбы народов, Инженерная академия, г. Москва, Российская Федерация
e-mail: tanija_ch@mail.ru; shcherba_va@mail.ru; k.vorobyev98@mail.ru

В. И. Ляшенко /к. т. н./

ГП «УкрНИПИИпромтехнологии», г. Желтые Воды, Украина
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

Влияние техногенных преобразований геологической среды при добыче полезных ископаемых на сейсмическую активность земной коры в горнодобывающих регионах

A. P. Butolin /Cand. Sci. (Geol.)/

Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation
e-mail: geologia/osu@mail.ru

T. V. Chekushina /Dr. Sci. (Ekon.)/, V. A. Tscherba /Cand Sci. (Geol.)/, K. A. Vorob'ev

Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation
e-mail: tanija_ch@mail.ru; shcherba_va@mail.ru; k.vorobyev98@mail.ru

V. I. Lyashenko /Cand Sci. (Tech.)/

HP «Ukrainian scientific-research and design-prospectin Institute of industrial technology», Zheltye Vody, Ukraine
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

The influence of technogenic transformations of the geological environment in the extraction of minerals on the seismic activity of the earth's crust in mining regions

Цель. Оценить влияние техногенных преобразований геологической среды при добыче полезных ископаемых на сейсмическую активность земной коры в горнодобывающих регионах с учетом техногенного воздействия на естественную природную среду геодинамических процессов в верхних слоях литосферы, где ведется активная добыча нефти и газа на основе автоматизированных систем и технических средств нового поколения, разработанных специалистами ведущих научных центров мира.

Методика исследований. Использованы натурные и экспериментальные исследования, трансформации физико-химических характеристик подземных вод, изменение собирающих свойств эксплуатационных блоков и слоев осадочных, магматических и метаморфических пород по стандартным и новым методикам.

Результаты. Установлено, что мониторинг сейсмических событий в сети сейсмических станций при выборе технологических режимов добычи, планировании строительства и эксплуатации инженерных сооружений, уменьшении вероятности возникновения аварийных ситуаций и информировании населения о сейсмической активности в регионе позволит учитывать сейсмичность.

Научная новизна. Данные геологического развития, его строения и тектонического режима в пределах Уральского региона систематизированы с учетом типов и степени техногенных нагрузок на геологические структуры, закачки смежных слоев воды и токсичных промышленных сточных вод в глубоко поглощающие слои карбонатных пород. Возможность оценки дальнейшего изменения геологической среды в пределах исследуемого региона доказана, исходя из современного состояния техногенного и геодинамического взаимовлияния.

Практическое значение. Внедрение сейсмического мониторинга в нефтегазовой сфере и горнодобывающей промышленности позволяет в режиме реального времени изучать и анализировать степень изменения напряженно-деформированного состояния геологической среды региона. (Ил. 3. Библиогр.: 23 назв.)

Ключевые слова: месторождения, нефть, газ, руда, геологическая среда, техногенная нагрузка, горнодобывающие регионы, сейсмический мониторинг.

DOI: 10.33101/S065938374

Введение. Наблюдения и эксперименты не могут быть полностью независимыми от человека, а значит, и абсолютно объективными и достоверными. Наряду 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. 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 [1–6]. Поэтому оценка влияния техногенных преобразований геологической среды при добыче полезных ископаемых на сейсмическую активность земной коры в горнодобывающих регионах с учетом техногенного воздействия на естественную природную среду геодинамических процессов в верхних слоях литосферы, где ведется активная добыча нефти и газа на основе автоматизированных систем и технических средств нового поколения, разработанных специалистами ведущих научных центров мира, – важная научная, практическая и социальная задача, требующая неотлагательного решения [7–12].

Теория, методы исследований и применяемые термины. В работе для оценки роли техногенного воздействия на естественный характер геодинамических процессов в верхних слоях литосферы, где ведется активная добыча нефти и газа, использовались натурные и экспериментальные исследования причин и последствий необычных, часто непредсказуемых событий, таких как преобразования физико-химических характеристик подземных вод, изменение коллекторских свойств блоков и слоев осадочных, магматических и метаморфических пород по стандартным и новым методикам. Допустимая скорость колебаний грунта – скорость, при которой полностью гарантировано сохранение зданий и сооружений, а вероятные локальные деформации не превышают прогнозированных (нормативных) значений.

Объекты исследования. Формирование геологической среды на территории Южного Приура-

лья началось с момента использования человеком природного камня, природных вод, руд металлов и углеводородов в практических целях, с совершенствования техники и технологий добычи и переработки полезных ископаемых, технологий переработки сырья, а также использования недр в качестве подземных хранилищ, для прокладки трубопроводов, строительства наземных магистралей по перемещению гигантских объемов вещества недр, строительства 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.

В связи с большими объемами выемки и перемещения горных пород в зонах глубинных геологических разломов техногенные землетрясения происходят и в других горнодобывающих регионах, например, в Криворожском железорудном бассейне Украины [13].

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 носят 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 геоэкологические изменения в зоне активного водообмена, динамику тепловых и газовых эманаций 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 горно-складчатой 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 давлениях 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 [16; 17], 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 [15; 18]. 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 геоэкологической 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 геоэкологически 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).

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

Рассматриваемая территория Оренбургского Приуралья входит в Волго-Уральскую нефтегазодобывающую 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 % относятся 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 геоэкологических преобразований сложно эволюционирующих природных систем, процессов, которые характеризуются широким спектром взаимосвязанных природных техногенных элементов.

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 покров, 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 месторождением промышленных, минеральных пресных вод пи-

твеевого 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 12000 км³ изменились пластовые давления, химический состав пластовых водных растворов, структура порово-трещинного пространства, ускорились процессы эрозии и заиления 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, гумидным 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 флюидо-геодинамики 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 литосферы. 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 вмешатель-

ство 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. 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 сейсмического 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 пород, 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 зо-

нам, 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 дешифрировать 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 приближаются 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 разно уровневый 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 процессе 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, газовый, 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 нарушения, 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. В рассматриваемом регионе выделены и сквозные транзитные структурные зоны, проходящие между блоками или выступами фундамента часто дизъюнктивной

Рис. 2. Карта структурно-тектонических элементов Оренбургского Предуралья [5]

природы. К таким трансрегиональным зонам относятся Ашкардарская, Ик-Иртекская, Самарская [8]. В бортовой зоне Предуральского прогиба также отмечены разломные субширотные зоны. Диагональные разломы оперяют 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. Дуговые системы разломов образуют три-четыре пояса и соответствуют положительным полосовым магнитным аномалиям фундамента по контуру юго-восточного погружения Жигулевско-Оренбургского свода.

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 [15]. 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 до 2,7–2,9 °С. Причем увеличение геотермического градиента отмечается в интервалах глубин от 1800–1900 до 3000–3100 м. Глубже геотермические градиенты вновь снижаются до 0,43–1,00 °С [2].

Сейсмическая безопасность технологии. Из аппаратуры, поставляемой производителями развитых горнодобывающих стран мира, наибольшее научное и практическое значение представляет прибор производства фирмы Instantel (Канада) типа *BlastMate Series III*, который успешно апробирован и показал положительные результаты при измерении сейсмических колебаний охраняемых объектов (подземных и

ГОРНОРУДНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

поверхностных, включая жилую застройку, под-
русловый поток р. Ингул и др.) в условиях под-
земной разработки рудных месторождений слож-
ной структуры ГП «Восточный ГОК», Украина
(рис. 3) [13–15].

С помощью одного прибора можно одно-
временно регистрировать вибрации, условия
окружающей среды и движение трещин в соо-
ружениях. Исключается влияние человеческого
фактора, ошибки при обработке и представлении

а)

б)

Рис. 3. Сейсмограф BlastMate Series III: а– общий вид; б– образец протокола итоговых замеров

информации в виде протокола, распечатанного компьютером сразу же после завершения взрыва. Основные характеристики прибора Blast Mate Series III:

- термопринтер с высокой разрешающей способностью и скоростью печати позволяет выдавать отчеты о событиях непосредственно на месте работ без необходимости в подключении к компьютеру;
- полноразмерная клавиатура упрощает ввод комментариев и другой информации;
- кнопки с единственной функцией и меню позволяют быстро выполнять необходимые операции и регулировать форму сигнала одновременно с записью гистограммы;
- частота выборки от 1,024 до 16,384 значений в секунду на канал и до 65,536 – при использовании только одного канала;
- два стандартных трехосевых (x, y, z) сейсмоприемника и два микрофона.

Направление дальнейших исследований.

Проведенное обсуждение позволяет оценить роль техногенного воздействия на естественный характер геодинамических процессов в верхних слоях литосферы, где ведется активная добыча нефти и газа [16–18]. Необходимо продолжить исследования по разработке методики, основанной на систематизации комплексных признаков сейсмической опасности на основании новых приборов и автоматизированных систем геомеханического и сейсмического обеспечения развитых горнодобывающих стран мира, наибольшее научное и практическое значение представляет прибор производства фирмы Instantel, (Канада) типа *BlastMate Series III* [19–21]. Внедрение сейсмического мониторинга в нефтегазоносном Оренбуржье позволит 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 [22].

Выводы

1. **Установлено**, что геотермический градиент по стволу скважины и каротажным диаграммам термометрических исследований в интервалах глубин 0–4976 м изменяется от 0,7–0,93 до 2,7–2,9 °C.
2. **Показано**, что увеличение геотермического градиента отмечается в интервалах глубин от 1800–1900 до 3000–3100 м, а глубже геотермические градиенты вновь снижаются до 0,43–1,00 °C.
3. **Отмечено**, что 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, проживающее в зоне влияния скважин, о техногенной сейсмической активности региона.

Библиографический список / References

1. Бутолин А. П. Геоэкологическое состояние и особенности зональности подземных вод в нефтегазоносном Оренбуржье / А. П. Бутолин, В. А. Щерба // Геоэкологические проблемы современности: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 9. – Владимир: Изд-во ВГУ, 2007. – С. 15–25.
Butolin A. P., Shcherba V. A. (2007). *Geoeological state and features of zonality of groundwater in oil and gas Orenburg*. Geoeological problems of the present: Interuniversity. Sat scientific works. Issue 9, Vladimir: Publishing house of VGU, pp. 15–25. (In Russ.).
2. Бутолин А. П. О возможности распознавания признаков геодинамически неустойчивых техногенно нарушенных блоков геологической среды в Оренбургском Приуралье / А. П. Бутолин, В. А. Щерба // Геология в школе и в вузе: Геология и цивилизация: матер. VIII Международной конференции. Т. I. Науки о Земле / под общ. ред. Е. М. Нестерова. – СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2013. – С. 222–228.
Butolin A. P., Shcherba V. A. (2013). *About the possibility of recognizing the characteristics of geodynamically unstable technogenic-violated blocks of the geological environment in the Orenburg Urals*. Geology at school and in high school: Geology and civilization. VIII International Conference. Issue I. Earth Sciences. St. Petersburg: RSPU A. I. Herzen, pp. 222–228. (In Russ.).
3. Бутолин А. П., Щерба В. А. К вопросу об оценке техногенной сейсмической опасности при освоении месторождений углеводородов / А. П. Бутолин, В. А. Щерба // Геология, геоэкология, эволюционная география: монография. Т. XIII / под ред. Е. М. Нестерова, В. А. Снытко. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2014. – С. 59–65.
Butolin A. P., Shcherba V. A. (2014). *On the question of the assessment of man-made seismic hazard in the development of hydrocarbon deposits*. Geology, geoecology, evolution geography. Vol. XIII. St. Petersburg: RGPU A. I. Herzen, pp. 59–65. (In Russ.).
4. Вахнин М. Г. Влияние современных тектонических напряжений гряды Чернышева на нефтегазоносность локальных структур / М. Г. Вахнин // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: материалы докладов Всероссийской конференции с между-

народным участием. Т. 2. – М.: Изд-во: Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, 2016. – С. 16–20.

Vakhnin M. G. (2016). *Influence of modern tectonic stresses of Chernyshev's ridge on the oil and gas content of local structures*. Fourth tectonophysical conference in IFRS of the Russian Academy of Sciences. Tectonophysics and topical issues of the Earth sciences. Materials of the reports of the All-Russian conference with international participation. Vol. 2. Moscow, The Institute of Physics of the Earth named O. Yu. Schmidt RAS, pp. 16–20. (In Russ.).

5. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. – Оренбург: Оренб. книжн. изд-во, 1977. – 272 с.

Geological structure and oil-gas content of the Orenburg region (1977). Orenburg: Oren. books ed., 272 p. (In Russ.).

6. Кашников Ю. А. Деформационные предвестники техногенных землетрясений при разработке месторождений углеводородов / Ю. А. Кашников, С. Г. Ашихмин, В. Г. Букин и др. // Записки Горного института. 188. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 145–152.

Kashnikov Yu. A., Ashikhmin S. G., Bukin V. G. (2010). *Deformation precursors of man-made earthquakes in the development of hydrocarbon deposits*. Mining Institute Notes. 188. St. Petersburg, pp. 145–152. (In Russ.).

7. Нестеренко М. Ю. Техногенная сейсмическая активность в районах нефтегазодобычи в Южном Предуралье и ее статистический анализ // М. Ю. Нестеренко, О. А. Никанорова // В мире научных открытий. – 2013. – № 6.1 (42). – С. 102–117.

Nesterenko M. Yu., Nikanorova O. A. (2013). *Technogenic seismic activity in the regions of oil and gas production in Southern Preduralye and its statistical analysis*. In the world of scientific discoveries, no. 6.1 (42), pp. 102–117. (In Russ.).

8. Нестеренко М. Ю. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья): монография / М. Ю. Нестеренко, Ю. М. Нестеренко, А. Г. Соколов; РАН, Урал. отделение, Оренбург. науч. центр. – Екатеринбург: УрО РАН, 2015. – 186 с.

Nesterenko M. Yu., Nesterenko Yu. M., Sokolov A. G. (2015). *Geodynamic processes in hydrocarbon deposits under development (on the example of Southern Preduralia)*. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 186 p. (In Russ.).

9. Планета Земля. Энциклопедический справочник. Том «Тектоника и геодинамика» / ред. Л. И. Красный и др. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 652 с.

Krasny L. I. (ed.) *Planet Earth. Encyclopedic reference. Volume "Tectonics and Geodynamics"*. St.

Petersburg, VSGEI Publishing House, 2004, 652 p. (In Russ.).

10. Самарина В. С. Техногенная метаморфизация химического состава природных вод (на примере эколого-гидрогеохимического картирования бассейна р. Урал, Оренбургская область) / В. С. Самарина, А. Я. Гаев, Ю. М. Нестеренко и др. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1999. – 444 с.

Samarina V. S., Gaev A. Ya., Yu. M. Nesterenko (1999). *Technogenic metamorphisation of the chemical composition of natural waters (on the example of ecological and hydrogeochemical mapping of the Ural river basin, the Orenburg region)*. Yekaterinburg: Publishing Department of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 444 p. (In Russ.).

11. Хаин В. Е. Геотектоника с основами геодинамики / В. Е. Хаин, М. Г. Ломизе. – М.: Изд-во КДУ, 2005. – 560 с.

Khain V. E., Lomize M. G. (2005). *Geotectonics with the basics of geodynamics*. Moscow, Publishing house of KSU, 560 p. (In Russ.).

12. Хаин В. Е. История и методология геологических наук / В. Е. Хаин, А. Г. Рябухин, А. А. Наймарк. – М.: Академия, 2008. – 416 с.

Khain V. E., Ryabukhin A. G., Naimark A. A. (2008). *History and methodology of geological sciences*. Moscow, Publishing Center Academy, 416 p. (In Russ.).

13. Четверик М. С. Техногенные землетрясения и безопасность горных разработок / М. С. Четверик, Е. А. Бубнова, Е. В. Бабий, М. А. Батур // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. – 2017. – Вып. 156. – С. 127–146.

Chetverik M. S., Bubnova E. A., Babiya E. V., Batur M. A. (2017). *Tekhnogennyye zemletryaseniya i bezopasnost' gornyykh razrabotok*. Geotekhnicheskaya mekhanika, issue 156, pp. 127–146 (In Russ.).

14. Ляшенко В. И. Создание и внедрение сейсмобезопасной технологии подземной разработки урановых месторождений / В. И. Ляшенко, А. Х. Дудченко // Научный вестник НГУ. – 2012. – № 3. – С. 54–63.

Lyashenko V. I., Dudchenko A. Kh. (2012). *Creation and implementation of seismic safety technology for underground mining of uranium deposits*. Scientific bulletin of NMU, no. 3, pp. 54–63 (In Russ.).

15. Ляшенко В. И. Сейсмобезопасная технология подземной разработки урановых месторождений / В. И. Ляшенко, А. Х. Дудченко // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 34–40.

Lyashenko V. I., Dudchenko A. Kh. (2012). *Seismic-safe technology for underground mining of uranium deposits*. Labor safety in industry, no. 5, pp. 34–40 (In Russ.).

16. Ляшенко В. И., Дудченко А. Х. Обоснование сейсмобезопасных для городской застройки параметров массовых взрывов при подземной разработке урановых месторождений / В. И. Ляшен-

ко, А. Х. Дудченко // Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 40–44.

Lyashenko V. I., Dudchenko A. Kh. (2012). *Rationale for seismic-safe urban explosion parameters for underground mining of uranium deposits*. Mountain Magazine, no. 8, pp. 40–44 (In Russ.).

17. Adushkin V. V., Kishkina S. B. and Kocharyan G. G. (2017). *New approach to monitoring induced earthquakes*. Journal of Mining Science, vol. 53, no. 1, pp. 3–14.

18. 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, pp. 1–9.

19. Christina Nunez (2017). Tremors linked to oil and gas activities were addressed by two key U.S. agencies this week. National Geographic. PUBLISHED MARCH 29. New USGS Maps Show Human-Induced Earthquakes.

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

21. 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. Michaelm Justin L. Rubinstein, Arthur F. McGarr, Kenneth S. Rukstales (2017). One Year Seismic Hazard Forecast for the Central and Eastern United States from Induced and Natural Earthquakes. Seismological Research Letters, 88 (3), pp. 772–783.

22. 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>

23. Butolin A., Chekushina T., Lyashenko V., Tschherba V., Vorob'ev K. (2018). *Geocological Problems During Oil And Gas Recover*. Metallurgical and Mining Industry, no. 3, pp. 34–42.

Мета. Оцінити вплив техногенних перетворень геологічного середовища при видобутку корисних копалин на сейсмічну активність земної кори в гірничодобувних регіонах з урахуванням техногенного впливу на природне середовище геодинамічних процесів у верхніх шарах літосфери, де ведеться активний видобуток нафти і газу на основі автоматизованих систем і технічних засобів нового покоління, розроблених фахівцями провідних наукових центрів світу.

Методика досліджень. Використано натурні та експериментальні дослідження, трансформації фізико-хімічних характеристик підземних вод, зміна збиральних властивостей експлуатаційних блоків і шарів осадових, магматичних і метаморфічних порід за стандартними і новим методикам.

Результати. Встановлено, що моніторинг сейсмічних подій у мережі сейсмічних станцій при виборі технологічних режимів видобутку, плануванні будівництва і експлуатації інженерних споруд, зменшенні

ймовірності виникнення аварійних ситуацій та інформування населення про сейсмічну активність у регіоні дозволить враховувати сейсмічність.

Наукова новизна. Дані геологічного розвитку, його будови і тектонічного режиму в межах Уральського регіону систематизовані з урахуванням типів і ступеня техногенних навантажень на геологічні структури, закачування суміжних шарів води і токсичних промислових стічних вод в глибоко поглинаючі шари карбонатних порід. Можливість оцінки подальшої зміни геологічного середовища в межах досліджуваного регіону доведена, виходячи із сучасного стану техногенного та геодинамічного взаємовпливу.

Практичне значення. Впровадження сейсмічного моніторингу в нафтогазовій сфері та гірничодобувної промисловості дозволяє в режимі реального часу вивчати і аналізувати ступінь зміни напружено-деформованого стану геологічного середовища регіону.

Ключові слова: родовища, нафта, газ, руда, геологічне середовище, техногенне навантаження, гірничодобувні регіони, сейсмічний моніторинг.

Purpose. Assess the influence of technogenic transformations of the geological environment in the extraction of minerals on the seismic activity of the earth's crust in mining regions, taking into account the technogenic impact on the natural environment of geodynamic processes in the upper layers of the lithosphere, where active production of oil and gas is being carried out on the basis of automated systems and new generation technical equipment, developed by experts from leading scientific centers of the world.

Research methodology. Field and experimental studies, transformations of the physicochemical characteristics of groundwater, changes in the collecting properties of operational blocks and layers of sedimentary, igneous and metamorphic rocks using standard and new methods were used.

Findings. It is established that monitoring seismic events in the network of seismic stations when selecting technological modes of production, planning the construction and operation of engineering structures, reducing the likelihood of emergency situations and informing the public about seismic activity in the region and will allow to take seismicity into account.

Originality. Data of geological development, its structure and tectonic regime within the Ural region are systematized taking into account the types and degree of man-made loads on geological structures, injection of adjacent water layers and toxic industrial wastewater into deeply absorbing layers of carbonate rocks. The possibility of assessing further changes in the geological environment within the region under study is proved based on the current state of technogenic and geodynamic interaction.

Practical value. The introduction of seismic monitoring in the oil and gas industry and the mining industry allows real-time study and analysis of the degree of change in the stress-strain state of the geological environment of the region.

Key words: deposits, oil, gas, ore, geological environment, technogenic load, mining regions, seismic monitoring.

Рекомендована к публикации
д. т. н. А. Е. Воробьевым
Поступила 27.03.2019