

К ПРОБЛЕМЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО И ТЕХНОГЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В ОРЕНБУРГСКОМ ПРИУРАЛЬЕ

А. П. Бутолин, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии, ФБГОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия,

В. А. Щерба, к. г.-м. н., доцент кафедры экологии и природопользования, ФБГОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе»,

г. Москва, Россия, shcherba_va@mail.ru,

В. Н. Экзарьян, д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, ФБГОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет»

им. С. Орджоникидзе,

Москва, Россия

Цель. Охарактеризовать современное состояние техногенного и геодинамического взаимодействия блоков горных пород верхней части литосферы в нефтегазоносном Оренбургском Приуралье. **Объекты и методы.** Сделана попытка детально исследовать причины и последствия необычных, часто непредсказуемых событий, таких как резкие флуктуации физико-химических характеристик подземных вод, изменение коллекторских свойств геологической среды, включающей блоки осадочных, магматических и метаморфических пород. Исследованы изменения гидрогеодинамических и геофизических параметров горных пород, которые приводят к проявлению катастрофических событий — техногенным землетрясениям в пределах урбанизированных территорий. **Результаты.** В статье приведены данные об истории геологического развития, о геологическом строении и тектоническом режиме юго-востока Волго-Уральской антеклизы в пределах исследуемой территории. Охарактеризованы виды и степень техногенных нагрузок на геологическую среду 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. **Заключение.** Рассмотрены возможности оценки дальнейшего изменения геологической среды в пределах изучаемого региона, исходя из современного состояния регионально-геологических и техногенных условий и их взаимосвязи. Сделаны рекомендации о необходимости разработки методологии, которая позволит определить регулирующие воздействия технологических процессов на геологическую среду.

Aim. The aim of the research is to characterize the current state of technogenic and geodynamic interaction of blocks of rocks in the upper part of the lithosphere in the oil and gas bearing area of the Orenburg Urals. **Materials and methods.** An attempt was made to investigate in detail the causes and consequences of unusual, often unpredictable events, such as the transformation of phys-

Введение. Освоение минерально-сырьевых ресурсов является уникальной отраслью человеческой деятельности в силу своей непосредственной связи с природой как по цели и воздействию (недра Земли), так и по пространству, в котором он осуществляется (окружающая среда практически в полном спектре составляющих ее элементов). При этом виде деятельности в единый узел сплетаются противоречия между необходимостью ее осуществления и развития и требованиями ее ограничения для сохранения окружающей среды. Отличительной особенностью процессов освоения минерально-сырьевых ресурсов является также то, что они начинаются, как правило, на необжитых территориях, т. е. с вхождения в контакт с первоначальным, девственным состоянием природной среды (фактически с ее биоценозом). Это дает уникальную возможность иметь в качестве исходной базы окружающей среды, в том числе геологической, по существу, ее природный эталон.

Другой особенностью процесса является его динамическое свойство наращивать техногенную нагрузку на природу. Если начальные этапы процесса (геологическая съемка, общие поиски и т. п.) осуществляются с применением небольшого количества маломощной техники, то эксплуатация месторождений связана с использованием большого технического арсенала, который, как правило, приводит к разрушению природной среды. При этом пересекаются и сочетаются различные техногенные и природные факторы, проявляющиеся с различной интенсивностью на каждом этапе. В результате выявляется главное противоречие в оценке значимости процесса — между возрастанием прямого экономического эффекта при увеличении объемов производства минерального сырья и не менее интенсивно нарастающей техногенной нагрузкой на окружающую природную среду, величина которой часто превышает восстановительные возможности биосферы и геологической среды [1].

ical 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. **Results.** The article systematizes information about the history of geological development, the geological structure and tectonic regime of the southeast of the Volga-Urals anticline within the Orenburg 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. **Conclusions.** 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. Recommendations are made on the need to develop a methodology for determining the regulatory impacts of technological processes on the geological environment.

Ключевые слова: геологическая среда, месторождения нефти и газа, техногенные землетрясения, промышленные стоки, сейсмическая опасность, мониторинг.

Keywords: geological environment, oil and gas fields, man-made earthquakes, industrial wastewater, seismic hazard, monitoring.

Все виды деятельности с течением времени приводят к преобразованию локальных объемов приповерхностных слоев литосферы и формированию специфического пространства — геологической среды. Под геологической средой понимается верхняя часть литосферы, находящаяся в пределах интенсивного влияния инженерно-хозяйственной деятельности человека [2]. Определение мощности геологической среды и ее нижней границы представляется достаточно субъективной процедурой, которая в значительной степени определяется объектом исследований (в нашем случае — нефтедобычей). 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, наряду с наблюдаемыми и фиксируемыми проявлениями техногенных преобразований в формирующейся геологической среде, необходимо методологически корректное теоретическое обоснование изменяющегося в соответствии с природными тенденциями эволюции литосферного пространства. Однако отсутствие однозначного соответствия между истинностью и практической эффективностью знания ведет к необходимости дальнейшей систематизации данных о взаимодействии геологической среды и приповерхностных слоев литосферы, подвергшихся техногенному воздействию [2].

Объекты и методы. Геологическая среда в пределах Южного Приуралья начала формироваться с момента использования человеком крепких горных пород, вод естественных водоемов, руд металлов, нефти в практических целях. С совершенствованием техники добычи и технологий переработки различных видов минерального сырья, а также использование недр в качестве подземных хранилищ, для прокладки трубопроводов, строительство наземных магистралей по перемещению гигантских объемов вещества недр, строительство водохранилищ и т. д. Преобразование геологической среды резко интенсифицировалось. Значительные объемы горных пород верхней части земной коры исследуемой территории становятся областью антропогенных и естественных преобразований, приводят к изменению качества поверхностных, а также подземных вод, атмосферного воздуха, видового состава растений. Изменяются условия обитания животных, микрофауны и микрофлоры. Все это является причиной эпидемий, психических заболеваний и т. п., в том числе таких катастрофических явлений, как техногенные землетрясения. В целом реципиентами, подверженными воздействию изменяющейся, а по существу, деградирующей верхней части литосферы (геологической среды), являются все компоненты природной среды и экологические системы Южного Приуралья. На сегодняшний день трудно делать прогнозную оценку потенциала сейсмоактивных территорий даже при наличии текущей мониторинговой информации. Хотя эти территории хорошо изучены в тектоническом и геодинамическом отношении, в их пределах весьма проблематично предсказать

интенсивность и время проявления здесь землетрясений [3]. Увеличение техногенной нагрузки на приповерхностные слои литосферы в пределах нефте- и газосодержащих толщ горных пород Оренбургского Приуралья может послужить исходным основанием для возникновения сейсмических событий природно-техногенного характера с низкой степенью предсказуемости. Подобного рода землетрясения произошли в Татарстане, в Западной Сибири, на Северном Кавказе и привели к негативным экологическим последствиям [4]. Эти события обуславливают необходимость оценки геотехногенной опасности в процессе проектирования разработки, эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, приуроченных к толщам трещиноватых горных пород в областях развития тектонических разломов. Природно-техногенные сейсмические события носят фрагментарный характер и в целом не могут существенно повлиять на региональный водообмен и тектонический режим. Вместе с тем не исключены экологические последствия таких явлений. В частности, могут произойти определенные изменения в зоне активного водообмена, нарушиться динамика тепловых и газовых эманаций недр, а также произойти вторжение законтурных подземных вод в результате уменьшения пластового давления в продуктивных пластах. Возможно также уменьшение совокупного объема пор и трещин в результате уплотнения последних в толщах горных пород, или могут произойти пластичные деформации каркаса пород-коллекторов нефти и газа.

Результаты исследований и их обсуждение. По современным представлениям тектонофизики в очагах землетрясений развиваются преимущественно деформации скалывания [1]. Влияние поровых жидкостей имеет двойную особенность. Трение на плоскости скола при высоком давлении порово-трещинных вод снижается под воздействием даже относительно малых тектонических напряжений, и могут проявляться деформации скалывания. Такие изменения геологической среды часто приводят к сейсмическим разрывам. Эти явления приводят к техногенным землетрясениям, которые наблюдаются в различных регионах мира. Например, землетрясения в штатах Канзас и Оклахома, возникшие в результате закачки сточных вод в поглощающие горизонты, микроземлетрясения, обусловленные использованием методов фрекинга при разработке месторождений сланцевого газа и сланцевой нефти, в США [5]. При этом возможно снижение техногенной сейсмичности путем изменения нагрузки на геологическую среду, в первом случае за счет

уменьшения объема закачки сточных вод в пласты горных пород, во втором — обычным сокращением добычи сланцевых углеводородов.

Как правило, техногенные землетрясения приурочены к областям с повышенной природной сейсмичностью. Анализ результатов эксплуатации углеводородных месторождений на территории Татарстана, Башкортостана, Оренбургской области и Западной Сибири, где сейсмические события отмечаются весьма часто, указывает на формирование очагов геоэкологической опасности [6]. Упомянутые землетрясения произошли сравнительно недавно, поэтому пока не выявлены отдаленные сейсмические последствия изменений напряженно-деформационных состояний блоков порово-трещинных пород. Таким образом, территории, в пределах которых отмечены изменения геологической среды, вызванные повышением сейсмичности за счет различных видов воздействия и проявляющимися техногенными землетрясениями, следует относить к геоэкологически опасным, что должно учитываться при их функциональном освоении.

Техногенные землетрясения — это ответная реакция геологической среды на воздействие, которая является первым сигналом превышения этих воздействий над способностью геологической среды к самовосстановлению и самоочищению. Последующая интенсификация воздействий может привести к катастрофическим последствиям, т. е. к созданию условий для возникновения необратимой деградации геологической среды. В связи с этим необходимо разработать методику определения нормативных воздействий процессов техногенеза на геологическую среду, своеобразных предельно допустимых воздействий. Последние (воздействия) определяются структурно-тектоническими, геолого-гидрогеологическими, геодинамическими условиями и особенностями сложившейся функциональной структуры территории. Основной целью (результатом) такого методического подхода является математическое моделирование и прогнозирование геодинамической обстановки для различных заданных сценариев развития минерально-сырьевого комплекса. Базовой исходной информацией для моделирования, наряду с данными регионально-геологического строения, а также существующими и перспективными (по сценариям) видами и объемами недропользования являются материалы мониторинга состояния недр (мониторинга геологической среды), и в первую очередь, его основной подсистемы — геодинамического мониторинга. Рассмотрим особенности структурно-геологического строения Оренбургского При-

уралья и воздействие существующей системы нефтегазового комплекса на геологическую среду, а также проанализируем результаты исследований и наблюдений за последствиями изменений недр на примере этого региона.

Территория Оренбургского Приуралья, входящая в Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию, испытывает высокое техногенное воздействие на недра, обусловленное большими объемами извлекаемого углеводородного сырья. В настоящее время добыча газа удерживается на уровне 20 млрд м³, нефти — свыше 12,0 млн т, конденсата — около 0,7 млн т [7]. Нами предпринята попытка анализа и систематизации геологических преобразований сложно эволюционирующих природных систем и процессов, которые характеризуются широким спектром взаимосвязанных факторов и условий, определяющих их наличие и степень опасности.

Юго-восточный блок Волго-Уральской антеклизы характеризуется высокой техногенной нагрузкой на литосферу. Здесь пробурено несколько тысяч скважин различного назначения, на промыслах действуют установки комплексной подготовки газа, подготовки нефти, 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 трудноочищаемых промстоков, содержащих токсичные компоненты в концентрациях, представляющих опасность для качества подземных вод. 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.

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 широкомасштабные техногенные преобразования, что привело к изменению геодинамической обстановки. 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 заиления водоемов и характер сейсмических событий.

Кристаллический фундамент в пределах юго-восточной окраины Волго-Уральской антеклизы

представляет собой сложное сочетание 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 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 [8].

В данный момент времени пока остается недостаточно изученной роль такого фактора как геологическое время. В его масштабах происходило активное техногенное вмешательство человека последних двух столетий, что фактически представляет собой мгновение. За это время произошло резкое изменение горного и пластового давлений, исходных физико-химических равновесий, динамических напряжений в жестком скелете горных пород. Резко изменились аномалии полей гравитации, электромагнитные и другие энергетические поля в толще горных пород.

Последствия энергоемкой и крупномасштабной антропогенной деятельности по-прежнему являются в недостаточной степени 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, разрывы обсадных и технических колонн, перетоки газовых и жидких углеводородов, а также пластовых рассолов подземных вод по затрубным и межтрубным нарушениям скважин в вышележащие водоносные горизонты. Отмечаются также прорывы газа из продуктивной толщи в атмосферу, что квалифицируется как геотехногенные аварии и катастрофы.

Комплексное изучение факторов природного и техногенного характера, определяющих как состояние геологической среды, так и среды оби-

тания живых организмов, необходимо осуществлять на освоенных и промышленно-развитых территориях. Ведущая роль в данном случае принадлежит более устойчивым инертным блокам литосферы и направленности их развития. Здесь, очевидно, необходимо отметить экологические функции литосферы. Блоки земной коры глубинного гидрогеодинамического комплекса, вовлеченные в техногенез, способствуют образованию природно-техногенных систем, которые должны подчиняться общим, как гидрогеодинамическим, так и гидрогеохимическим закономерностям. В ненарушенном состоянии природные системы имеют сбалансированный температурный, газовый и химический режим литосферы, атмосферы, гидросферы и биоты, однако техногенез изменяет эти условия, в результате чего возникает техногенный компонент, который может заявить о себе посредством сейсмических событий техногенного происхождения [4].

На отдельных крупных месторождениях, например, на Оренбургском нефтегазоконденсатном месторождении, объемы извлеченных флюидов становятся сопоставимыми с объемами всей водонапорной системы в контуре питания месторождений. В результате формируются зоны напряженно-деформированных толщ горных пород. Ведение сейсмического (геодинамического) мониторинга на юго-восточном склоне Волго-Уральской антеклизы, осуществляемое сотрудниками отдела геоэкологии Уральского отделения РАН, позволяет в реальном времени изучать и анализировать изменчивость напряженно-деформационного состояния геологической среды на территории Оренбургского Приуралья [7, 8].

Первостепенным и важным этапом при оценке экологической опасности и сейсмического риска является районирование Южного Приуралья. Детальное изучение сведений в опубликованных статьях, посвященных сейсмическим явлениям техногенного характера, свидетельствует о том, что при разработке крупных месторождений нефти и газа в массивах земной коры, обладающих деформационной напряженностью, сопровождается различными явлениями. Последние обусловлены внутренней энергией слоев и блоков горных пород, превышением интенсивности проявления горизонтальных напряжений по сравнению с вертикальными напряжениями, в них наблюдаются зоны, в пределах которых зафиксировано наиболее значительное изменение скорости современных движений земной коры. В этих зонах отмечается неравномерное распределение касательных тектонических напряжений как по площади, так и по вертикали. Также

установлено, что сейсмические события проявляются неравномерно в пространстве и во времени.

Блоки возможных предельных напряжений могут быть выделены и оконтурены благодаря регистрации сейсмических событий незначительной магнитуды вблизи тектонических разломов, сопряженных с деформационно-напряженными зонами. Выявлению зон предельных тектонических напряжений способствуют также исследования особенностей распределения полей влаго- и газоёмкости, зон проницаемости горных пород. Мониторинг сейсмической активности и выявленных зон техногенного и природного происхождения позволит предпринимать профилактические меры, упреждающие возможные сейсмические подвижки со значимой магнитудой и позволит создать информационную основу математического моделирования последствий нефтедобычи.

Дистанционное зондирование в сочетании с геоинформационными технологиями на исследуемой территории способствует более эффективному изучению современных тектонических движений. Данные, полученные в результате исследований, позволят выявлять новейшие разрывные тектонические нарушения, выделять морфоструктуры, наблюдать современные геодинамические процессы.

Антропогенная деятельность в верхних слоях литосферы и на поверхности земли приводит к нарушению природного равновесия блоков горных пород, которые подвергаются техногенному воздействию, а это может привести к возможному их разрыву, и, соответственно, к возникновению землетрясения. Очаги проявления землетрясений, обусловленных техногенными процессами, скорее всего, возникают в зонах, где отмечается изменение гравитационного поля земной коры под влиянием гидростатических нагрузок.

Наблюдаемая связь нефтегазоносных структур с разломами и разрывными дислокациями глубокого заложения указывает на развитие подобного рода дислокаций в осадочном чехле. Часть из них образует на территории исследований «структурную решетку». Платформенная часть территории Оренбургской области характеризуется наличием субширотных, дугообразных разломов, поясов разнонаправленных разрывных нарушений. Преобладают, в основном, разломы, имеющие северо-северо-восточное простирание. В пределах рассматриваемого региона выделяются протяженные транзитные структурные зоны дизъюнктивной природы, протягивающиеся между отдельными блоками или выступами кристаллического

фундамента. Территория бортовой зоны Предуральяского краевого прогиба также характеризуется наличием субширотных зон разломов. Анализ результатов исследований землетрясений техногенного характера в нефтегазоносных регионах свидетельствует о том, что деформации, накопленные в толщах горных пород, проявляют себя тектоническими сдвигами по уже имеющимся нарушениям. В результате проведенных экспериментов удалось установить, что в случае перехода части разлома в устойчивое равновесие приводит к снижению его динамической сдвиговой жесткости. При этом механические свойства пород контакта изменяются задолго до того, когда регистрируется явное перемещение зон разрыва. Это явление можно обнаружить с помощью инструментальных методов и использовать результаты замера в процессе разработки системы геодинамического мониторинга. В комплексе работ по прогнозу сейсмической опасности можно использовать результаты повторных исследований тепловых свойств пород в скважинах. Каротажные диаграммы термометрических исследований в скважине Ордовик-1 в интервалах глубин 0—4976 м позволили установить изменение геотермического градиента по стволу скважины в интервале от 0,7—0,93 °С до 2,7—2,9 °С. Необходимо заметить, что увеличение геотермического градиента наблюдается в интервалах глубин от 1800—1900 м до 3000—3100 м. С увеличением глу-

бины наблюдается снижение геотермического градиента до 0,43—1,00 °С [6].

Заключение

Проведенное исследование позволило оценить роль техногенного влияния на естественный характер геодинамических процессов в верхней части литосферы, где ведется активное извлечение нефти и газа. Последующая интенсификация воздействий, вызванная расширением нефтедобычи, может привести к катастрофическим последствиям, т. е. к созданию условий для возникновения необратимой деградации геологической среды. Необходимо разработать методику определения нормативных воздействий процессов техногенеза на геологическую среду. Создание системы мониторинга сейсмической обстановки в районах нефтедобычи будет способствовать выбору оптимального технологического режима добычи, приведет к снижению вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций и заранее сообщать населению о возникновении сейсмической опасности. Внедрение сейсмического мониторинга в нефтегазоносном Оренбуржье позволяет объективно изучать и анализировать степень изменений тектонических напряжений состояния горных пород, а также влияние этих изменений на характер и степень преобразования геологической среды.

Библиографический список

1. Бутолин А. П., Шерба 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. Матер. VIII Международной конференции. Том I. Науки о Земле. СПб.: РГПУ им. А. И. Герцена, 2013. С. 222—228.
2. 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. (42). — С. 102.
3. Бутолин А. П., Шерба В. А. Геоэкологическое состояние и особенности зональности подземных вод в нефтегазоносном Оренбуржье // Геоэкологические проблемы современности: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 9. — Владимир: Изд-во ВГУ, 2007. С. 15—25.
4. 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*. V. 87. P. 1—9.
5. Хаин В. Е., Рябухин А. Г., Наймарк А. А. История и методология геологических наук. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 416 с.
6. Нестеренко М. Ю., Нестеренко Ю. М., Соколов А. Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Монография, РАН, Урал. отделение, Оренбург. науч. центр. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. 186 с.
7. Экзарьян В. Н. Геоэкология и охрана окружающей среды. М., Изд. «Щит-М», 2009. 202 с.
8. 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.
9. The total number of Americans at high risk from both natural and human-induced earthquakes this year is about 4 million. Mar 03, 2017.
10. Экзарьян В. Н. Оценка экологических последствий в районах разработки месторождений полезных ископаемых. Сергеевские чтения. Выпуск 19. Материалы годичной сессии Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: РУДН, 2017. С. 82—86.

