

1
НОМЕР

БОИЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

<http://www.elmag.uran.ru>



БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



КРАСНАЯ ПЛОЩАДЬ. БИТВА ЗА МОСКВУ
Бальтерманц Д.Н., 07.11.1941

2025

УЧРЕДИТЕЛЬ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ОРЕНБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© А.В. Цвяк, 2025

УДК 556.161 (470.5)

А.В. Цвяк

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Отдел геоэкологии),
Оренбург, Россия

В статье рассмотрены основные геодинамические риски, возникающие при эксплуатации подземных хранилищ газа. К ним относятся индуцированные землетрясения, обширные просадки земной поверхности, утечки газа из хранилища.

Ключевые слова: геодинамика, сейсмологический мониторинг, подземные хранилища газа.

A.V. Tsviak

GEODYNAMIC RISKS IN THE OPERATION OF UNDERGROUND GAS STORAGE

Orenburg Federal Research Center, UB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

The article examines the main geodynamic risks that arise during the operation of underground gas storage facilities. These include induced earthquakes, extensive subsidence of the earth's surface, and gas leaks from the storage facility.

Keywords: geodynamics, seismological monitoring, underground gas storage.

Подземные хранилища газа (ПХГ) играют важную роль в обеспечении энергетической безопасности и независимости России. ПХГ – сложный комплекс функционально связанных систем наземного и подземного оборудования.

В Оренбургской области уже в течение 50 лет эксплуатируется Совхозное ПХГ, которое расположено в 100 км на север от г. Оренбурга. Совхозное ПХГ было создано в выработанном Совхозном газоконденсатном месторождении. Рассмотрим основные геодинамические риски, которые могут возникнуть при эксплуатации этого ПХГ.

Одной из основных проблем в подземных хранилищах газа является возможность провоцирования землетрясений. Предотвращение индуцированных землетрясений во время операций по закачке/отбору газа требует знания нескольких геологических параметров, таких как: существующие сети разломов и трещин, современные условия напряжения и давления, геомеха-

нические ограничения, связанные с разрушением горных пород, общий объем хранимого газа и ежедневный поток закачиваемого/отбираемого газа.

Неблагоприятными явлениями при эксплуатации ПХГ являются утечки и миграции газа, обусловленные целым спектром как технологических, так и геологических проблем. Примерная оценка технологических и геологических потерь газа при подземном хранении в процентном выражении достигает 2,25% от активного объема [1]. Учитывая, что активный объем газа в системе ПХГ РФ в 2020 г. составлял около 75,07 млрд. м³, то объем утечек составляет порядка 1,5 млрд. м³.

Существуют данные о значительных пластовых потерях в ПХГ, созданных в водоносных горизонтах. Так, для хранилищ, расположенных в полого-залегающих пластах, утечки газа могут достигать 50% от общего объема [1].

Специфические особенности эксплуатации скважин ПХГ, работающих в циклическом режиме, добавляют дополнительные знакопеременные нагрузки на скелет породы.

Классический анализ наземных геодезических измерений на плоскостях разломов обеспечивает доступный метод регистрации напряженных/деформированных полей геологических коллекторов, выступающий в качестве ключевого параметра, который позволяет понимать потенциал индуцированной сейсмичности [2]. Среди прочего, для идентификации поля деформации могут быть применены, в частности, методы право-двугранной модели и модели скольжения, тогда как поле напряжений может быть определено на основе анализа решений фокального механизма землетрясения. Следовательно, коэффициент реактивации для наборов разломов, влияющих на коллектор, может быть определен в соответствии с их согласием с полем деформации и их ролью в проницаемости коллектора и путях утечки газа [2].

Существует ряд исследований, посвященных просадкам грунта и объему утечек газа над нефтяными коллекторами. А.Е. Гуревич и Г.В. Чилингарян (1993) в своем исследовании выяснили физическую взаимозависимость между проседанием грунта и утечкой газа над нефтяными источниками, что было связано с развитием субвертикальных трещин над коллекторами [3]. Проседание часто сопровождается изменением величины утечки газа. В городских районах увеличение утечки газа может привести к «затоплению» газа в подвалах и других подземных сооружениях, что может привести к крупномасштабным выбросам газа, пожарам и взрывам [3].

Масштабное проседание наблюдалось во многих регионах, например, над нефтяными месторождениями Уилмингтон и Хун Тингтон-Бич в южной Калифорнии [4].

В общем случае проседание рассматривается как градуальный, непрерывный процесс понижения уровня земной поверхности, вызванный постепенным сближением продуктивных коллекторов [4]. Проседание грунта также может вызвать сейсмическую активность, что приводит к образованию вертикально и субвертикально ориентированных зон разуплотнения. Тем не менее, изучение взаимосвязи между оседанием грунта и сейсмической активностью пока находится на начальном этапе (рис.).

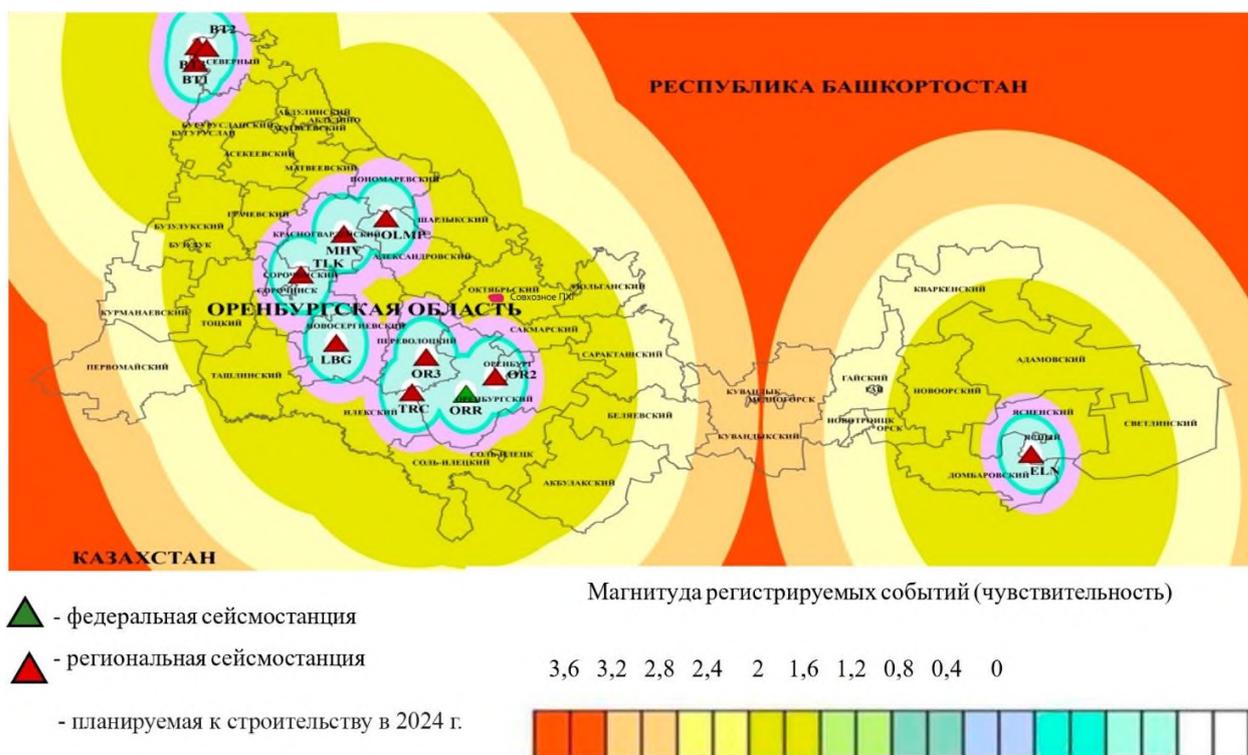


Рис. Чувствительность сети сейсмостанций в Оренбургской области.

Исследования по прогнозированию землетрясений в основном основывались на анализе сейсмичности на больших территориях. Изменения интегральных характеристик сейсмичности, рассчитанные на больших территориях, могут быть связаны с крупными землетрясениями. Есть также свидетельства о том, что изменения концентрации радона в неглубоких колодцах могут быть использованы для прогнозирования землетрясений. В связи с этим использование приповерхностной концентрации метана в качестве дополнительного параметра при прогнозировании землетрясений может быть многообещающим. Даже микросейсмическая активность может увеличить проницаемость ранее существовавших разломов, что приведет к увеличению

миграции газа. Предполагается, что миграция газа происходит вдоль субвертикальных разломов и зон разломов, проницаемость которых зависит от сейсмической активности в регионе.

Увеличение утечки газа и концентрации газа в грунтах также может свидетельствовать о формировании вертикально ориентированных трещин над ПХГ и нефтяными месторождениями, которые могут вызвать уплотнение коллектора и последующее проседание грунта.

Миграция газа может идти по вертикально и субвертикально ориентированным трещинам, зонам разломов и полостям, образовавшимся вокруг скважин. Поскольку геометрия трещин и их ширина зависят от свойств и давления горных пород, проницаемость вверх и, следовательно, миграция газа могут изменяться в зависимости от изменения давления внутренней породы. Давление, в свою очередь, зависит от текущей тектонической активности, которая проявляется в изменении сейсмичности.

В этом контексте изменение времени интенсивности сейсмической активности и давления горных пород может влиять на трещиноватость горных пород и восходящую проницаемость, что, в свою очередь, приводит к изменению скорости миграции газа вверх.

В то же время, землетрясения изменяют давление горных пород, расположение и геометрию трещин и, следовательно, проницаемость вдоль трещин и зон разломов. Крупномасштабное региональное оседание также приводит к трещинам и разломам. Таким образом, возможность утечки газа может коррелировать с сейсмической активностью в исследуемой области.

Уплотнение коллектора и образование трещин и разломов над коллектором предшествуют просадочному процессу на поверхности. В свою очередь, увеличение количества и плотности вертикально или субвертикально ориентированных трещин приводит к улучшению восходящей газовой подвижности.

Заключение

Таким образом, для оценки геодинамических рисков на ПХГ требуется развивать сейсмологический мониторинг.

Своевременно проведенный мониторинг на территории размещения ПХГ, предотвращает чрезвычайные и аварийные случаи на ранней стадии, которые грозят опасностью для здоровья и жизни людей, а также позволяет разрабатывать комплекс мер для предупреждения таких ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щекин А., Ягудина Л., В. Вержбицкая ПХГ Анализ методов сокращения эмиссии метана [Электр. ресурс] // Сетевой журнал «Neftegaz.RU» 2023. 13 февраля. URL: <https://neftegaz.ru/science/ecology/770984-pkhg-analiz-metodov-sokrashcheniya-emissii-metan>. (дата обращения: 19.05.2024)
2. P´erez-L´opez R., Mediato J.F., Rodr´iguez-Pascua M.A., Giner-Robles J.L., Ramos A., Mart´ın-Vel´azquez S., Mart´inez-Or´ıo R., Fern´andez-Canteli P. An activetectonic field for CO2 storage management: the Hontom´ın onshore case study (Spain). Solid Earth. 2020. 11: 719-739. DOI: <https://doi.org/10.5194/se-11-719-2020>.
3. Gurevich A.E., Chilingarian G.V., Subsidence over producing oil and gas fields, and gas leakage to the surseismicity.face. J. Pet. Sci. Eng. 1993. 9: 239-250.
4. Herraiz M., De Vicente G., Lindo-Naupari R., Giner J., Sim´on J.L., Gonz´alez-Casado J.M., Vadillo O., Rodr´iguez-Pascua M.A., Cicu´endez J.I., Casas A., Cabañas L., Rinc´on P., Cort´es A.L., Ram´ırez M., Lucini M. The recent (upper Miocene toQuaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula.Tectonics. 2000. 19: 762-786. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000TC900006>.

Поступила 12 марта 2025 г.

(Контактная информация: Цвяк Алексей Владимирович – к.т.н., с.н.с. Отдела геоэкологии Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29, а/я 59; Тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: geoecol-onc@mail.ru)

REFERENCES

1. Shchekin A., Yagudina L., Verzhbitskaya UGS Analysis of Methods for Reducing Methane Emissions [Electronic resource] // Online journal "Neftegaz.RU" 2023. February 13. URL: <https://neftegaz.ru/science/ecology/770984-pkhg-analiz-metodov-sokrashcheniya-emissii-metan>. (Accessed: 05/19/2024)
2. P´erez-L´opez R., Mediato J.F., Rodr´iguez-Pascua M.A., Giner-Robles J.L., Ramos A., Mart´ın-Vel´azquez S., Mart´inez-Or´ıo R., Fern´andez-Canteli P. An activetectonic field for CO2 storage management: the Hontom´ın onshore case study (Spain). Solid Earth. 2020. 11: 719-739. DOI: <https://doi.org/10.5194/se-11-719-2020>.
3. Gurevich A.E., Chilingarian, G.V., Subsidence over producing oil and gas fields, and gas leakage to the surseismicity.face. J. Pet. Sci. Eng. 1993. 9: 239-250.
4. Herraiz M., De Vicente G., Lindo-Naupari R., Giner J., Sim´on J.L., Gonz´alez-Casado J.M., Vadillo O., Rodr´iguez-Pascua M.A., Cicu´endez J.I., Casas A., Cabañas L., Rinc´on P., Cort´es A.L., Ram´ırez M., Lucini M. The recent (upper Miocene toQuaternary) and present tectonic stress distributions in the Iberian Peninsula.Tectonics. 2000. 19: 762-786. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000TC900006>.

Образец ссылки на статью:

Цвяк А.В. Геодинамические риски при эксплуатации подземных хранилищ газа. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2025. 1. 5с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2025-1/Articles/AVZ-2025-1.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2025-11003