

## К ВОПРОСУ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Шевчук<sup>1</sup>, С.С. Квятковская<sup>1</sup>, Р.В. Шевчук<sup>2</sup>, С.С. Шерматова<sup>2</sup>, И.В. Головко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпром ПХГ»

<sup>2</sup> НИТУ «МИСиС»

**Аннотация:** Представлена разработка вопросов обеспечения геодинамической безопасности в одном из густонаселенных районах РФ, где реализуются масштабные проекты по освоению недр. Помимо развития городской инфраструктуры здесь ведутся работы по строительству Калининградского ПХГ и рудника на Нивенском месторождении калийно-магниевых солей. Анализ имеющегося мирового опыта строительства и эксплуатации ПХГ и разработки соляных месторождений приводит к выводу о возможном влиянии таких объектов на окружающую среду и геодинамическую безопасность региона. В работе предлагается блок-схема геодинамического мониторинга, в которой объектом исследований является система двух производственных объектов и территория города Калининграда. Также предложено создание системы единого геодинамического мониторинга, включающего сейсмологические исследования.

**Ключевые слова:** подземное хранилище газа, геодинамический полигон, маркшейдерско-геодезические наблюдения, сейсмологический мониторинг, геодинамическая безопасность, горные удары, техногенные землетрясения, сейсмическая активность.

**Для цитирования:** Шевчук С.В., Квятковская С.С., Шевчук Р.В., Шерматова С.С., Головко И.В. К вопросу геодинамического мониторинга территории Калининградской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 298–309. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-298-309.

### To the question of geodynamic monitoring of the territory of the Kaliningrad region

S.V. Shevchuk<sup>1</sup>, S.S. Kvyatkovskaya<sup>1</sup>, R.V. Shevchuk<sup>2</sup>, S.S. Shermatova<sup>2</sup>, I.V. Golovko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gazprom UGS LLC, Russia

<sup>2</sup> NUST «MISIS», Moscow, Russia

**Abstract:** The work is devoted to the development of issues of ensuring geodynamic safety in one of the densely populated regions of the Russian Federation, where large-scale projects for the development of subsoil are being implemented. In addition to the development of urban infrastructure, work is underway here on the construction of the Kaliningrad deposit and the mine at the Nivenskoye deposit of potassium and magnesium salts. Leads to the conclusion about the possible impact of such objects on the environment and geodynamic security of the region. The paper proposes a block diagram of geodynamic monitoring, within the framework of which studies are carried out on two objects and the territory

of the city of Kaliningrad. It is also proposed to create a system of unified geodynamic monitoring, including seismological studies.

**Key words:** underground gas storage, geodynamic testing ground, mine surveying and geodetic observations, seismological monitoring, geodynamic safety, rock bumps, man-made earthquakes, seismic activity.

**For citation:** Shevchuk S.V., Kvyatkovskaya S.S., Shevchuk R.V., Shermatova S.S., Golovko I.V. To the question of geodynamic monitoring of the territory of the Kaliningrad region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):298-309. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-298-309.

---

## 1. Введение

Геодинамическая безопасность рассматривается в настоящее время как составляющая экологической безопасности. Сильные горные удары, индуцированная сейсмичность, геодинамические явления на объектах недропользования, геодинамически опасные зоны влияют не только на безопасность технологических процессов, но также на окружающую среду и социальную обстановку [1–6]. Наиболее сильные горные удары в истории горного дела произошли на соляных рудниках, а эксплуатация подземных хранилищ газа (ПХГ) является одним из видов инженерной деятельности, вызывающей индуцированную сейсмичность [5,7,8].

В Калининградской области в 2009 году началось строительство Калининградского подземного хранилища газа, а в 2014 году — строительство рудника по добыче калийно-магниевых солей на участке недр «Нивенский-1» (рис. 1). В настоящее время г. Калининград находится между этими двумя объектами интенсивного воздействия на недра.

Согласно СНиП II-7–81 сейсмичность Калининградского региона оценивалась в 5 баллов. Однако 21 сентября 2004 г. здесь произошли землетрясения, наибольшая интенсивность которых составляла 6 и 6–7 баллов по шкале MSK-64, а моментальная магнитуда по Канаморити ( $M_w$ ) 4,6

и 4,8 соответственно. В 2006–2007 гг. проводились сейсмологические наблюдения на западе Калининградской области, анализ которых позволил зафиксировать очаги двух местных слабых землетрясений с магнитудами  $M_L=3,4–3,5$  [9]. В 2015 году было внесено изменение в СП 14.13330.2014, и в настоящее время территория Калининградской области отнесена к зоне с фоновой сейсмичностью 6 баллов по шкале MSK-64.

В рамках концепции геодинамического районирования, которая развивается в России с конца 70-х годов, геодинамически опасные зоны для ведения работ по освоению недр рассматриваются как результат взаимодействия локальных геомеханических и глобальных геодинамических процессов различных иерархических уровней [10,11]. Обнаружение такой тесной взаимосвязи между глобальными геодинамическими и локальными геомеханическими процессами, обусловленными воздействием на недра, и заключение о фундаментальной роли блочно-иерархического строения породных массивов в проявлении возникающих геомеханических эффектов рассматриваются как важнейшие результаты геомеханико-геодинамических исследований XX века [12]. Многие аварии в шахтах и на земной поверхности, индуцированные землетрясения рассматриваются в настоящее время с этих позиций [1,13–15]. Важным также

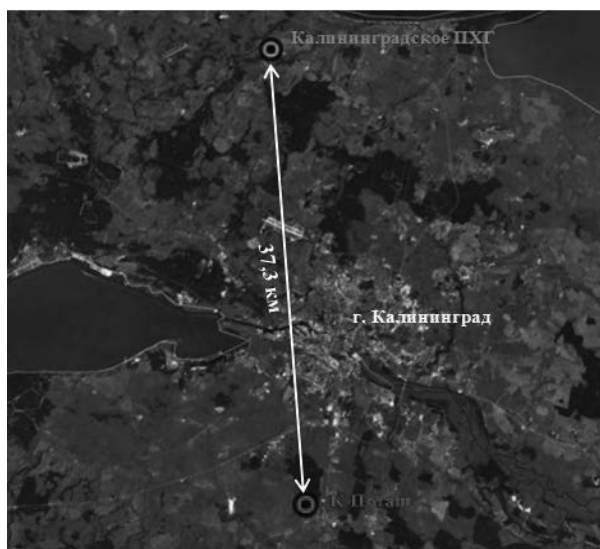


Рис. 1. Расположение промышленных объектов Калининградской области  
 Fig. 1. Location of industrial facilities in the Kaliningrad region

является обеспечение безопасного вторичного использования подземного пространства шахт [16]. С этой точки зрения строительство объектов интенсивного воздействия на недра в районе крупнейшего мегаполиса на западных рубежах России нельзя игнорировать.

В связи с вышеизложенным требуется оценка геодинамической ситуации в районах освоения недр Калининградской области и разработка предложений по мониторингу геодинамических процессов.

## 2. Геодинамические явления при освоении соляных месторождений и эксплуатации ПХГ

### 2.1. Геодинамические явления при освоении соляных месторождений

Геодинамические явления на соляных рудниках в разных странах мира неоднократно описаны в научно-технической литературе [3,5,7,8,17–21]. В Германии, Польше, Канаде, Франции, России и других странах происходили

крупные геодинамические явления, не только оказавшие влияние на инфраструктуру предприятия, но и вызвавшие негативный социальный и экологический ущербы.

Одним из известных сильнейших горных ударов, произошедшем на соляных рудниках, фактически техногенным землетрясением, было событие 1958 года на руднике Верра в Германии. Сейсмическое воздействие ощущалось на расстоянии до 1000 км [3].

В России примером реализации геодинамической и экологической опасности при разработке калийно-магниевых солей можно считать события, произошедшие при освоении Верхнекамского месторождения. Здесь 5 января 1995 г. вблизи г. Соликамска произошло землетрясение техногенного характера с магнитудой 3,8 [7,17]. Землетрясение вызвало обрушение междукамерных целиков и междупластовых потолочин в районе 1 и 2 северо-восточных панелей Второго Соликамского рудника на площади более 40 га. За несколько минут произошло оседание земной

поверхности на глубину 3–4,5 м. Сложность разработки месторождения была обусловлена высокой обводненностью вышележащей над соляным массивом толщи пород и опасностью проникновения подземных вод в горные выработки.

Известны крупные аварии, связанные с нарушением водозащитной толщи (ВЗТ) и образованием провалов на поверхности непосредственно на территории населенных пунктов (например, авария на российском руднике БКПРУ-1 в г. Березники).

Сейсмологический мониторинг становится неотъемлемой частью при разработке соляных рудников. На Верхнекамском месторождении калийных солей сейсмологический мониторинг ведется с 1995 г. Основной целью является получение информации о процессах, связанных с деформированием или разрушением горных пород в пределах шахтных полей, и характеризующих сейсмический режим территории в целом, а также дальнейшее выявление опасных участков и возможных проявлений геодинамических процессов. В работах [17,18] делается вывод, что фиксируемые сейсмические события связаны с техногенным воздействием на недра.

Таким образом, соляные рудники являются одним из значительных объектов воздействия на недра, способных изменить геодинамическую и экологическую ситуацию в регионе.

## ***2.2 Геодинамические явления и аварии при эксплуатации ПХГ***

Мировой опыт строительства и эксплуатации ПХГ в солях показывает, что при их эксплуатации возникает ряд инцидентов и аварий, приводящих к обвалу свода резервуара, газопроявлениям на поверхности, сейсмическому эффекту [22,23]. Более того, эксплуатация ПХГ прямо признается одним

из видов инженерной деятельности, вызывающих индуцированную сейсмичность. К индуцированным землетрясениям, связанным с эксплуатацией ПХГ, относят землетрясения вблизи Газлийского ПХГ [24,25]. До 1988 года здесь разрабатывалось крупное газовое месторождение, известное крупнейшими техногенными землетрясениями с магнитудой 7 [24,25]. С 1988 года газовое месторождение используется в качестве ПХГ. В работе [24] выделяется зависимость между сейсмичностью и циклическими процессами эксплуатации ПХГ. Причем при увеличении давления в пласте происходит увеличение событий сейсмической активности, и, напротив, при отборе газа их количество снижается. Безусловно, требуется полное и всестороннее изучение данного вопроса в пределах действующих подземных хранилищ газа Российской Федерации.

С октября по ноябрь 2009 года на одном из подземных хранилищ газа в Чехии были зафиксированы два землетрясения, оба находились в пределах хранилища и на глубинах, сопоставимых с глубиной ПХГ. Необходимо отметить, что данное ПХГ создано в граните, добыча которого велась до 90-х годов прошлого столетия. Во время добычных работ отмечалась интенсивная сейсмическая активность, которая не получила активного изучения и не была учтена при проектировании ПХГ. После строительства ПХГ создана локальная сейсмологическая сеть, которая регистрирует систематические события, происходящие вблизи подземного хранилища газа [26]. В результате изучения данных по произошедшим толчкам в 2009 году был сделан вывод, что причиной этих событий послужила активизация разломов.

Еще одним примером проявления сейсмичности при эксплуатации ПХГ

являются землетрясения, произошедшие в Испании в период с сентября по октябрь 2013 года. Здесь было зафиксировано порядка 511 событий с различной магнитудой. Все эти аномалии приурочены к подземному хранилищу газа. Отмечается, что пробная закачка газа была выполнена в июне 2013, после чего сейсмические события не отмечались. Полноценная же закачка газа осуществлялась со 2 по 16 сентября. В этот период регистрировались незначительные сейсмические события, а начиная с 24 сентября, когда работы по закачке газа прекратились, были зафиксированы землетрясения с магнитудой 4–4,2. Специалисты отмечают, что эпицентры этих событий приурочены к ПХГ. Как доказательство техногенной природы этих землетрясений расценивается то, что в последние два десятилетия, предшествующие закачке газа, в данном регионе не было отмечено сейсмических явлений [27].

С 9 июня 2013 года по 22 октября 2015 года на подземном хранилище газа в Китае были зафиксировано 273 сейсмических события в радиусе 10 км от ПХГ и на глубине, равной глубине хранилища [28].

Таким образом, ПХГ, так же как и соляные рудники, являются потенциально геодинамически опасными инженерными объектами.

### **3. Рудник «Нивенский-1» и Калининградское ПХГ как объекты геодинамического воздействия на недра**

#### **3.1. О геодинамической безопасности при эксплуатации Нивенского месторождения**

Нивенское месторождение калийно-магниевых солей расположено в Нивенском с/п Багратионовского района Калининградской области.

Калийно-магниевые соли в пределах участков недр залегают в виде пластов или прослоев различной мощности в толще каменной соли прегольской свиты, которая соответствует завершающей стадии галогенеза верхней перми. Глубина залегания пластов в пределах участка — от –1012 до –1137 м абс. отм., средняя общая мощность пачки калийно-магниевых солей, объединяющей оба пласта и безрудные прослои, — около 26 м.

Невинское месторождение имеет одну особенность — большая глубина залегания, что осложняет процесс выбора системы разработки, а отсутствие в России опыта ведения горных работ на таких глубинах при добыче солей говорит о неопределенности и высоких геодинамических рисках при проектировании и разработке месторождения.

Опираясь на информацию об авариях на калийных рудниках, можно предполагать, что даже при достаточно достоверной и детальной геологической информации имеются значимые риски возникновения геодинамических явлений и аварийных водопроявлений.

#### **3.2. О геодинамической безопасности при эксплуатации Калининградского ПХГ**

Устойчивая работа топливно-энергетического комплекса России, наряду с другими факторами, в значительной мере зависит от надёжности и равномерности поставок природного газа по газотранспортной системе страны. Регулирование этих поставок осуществляется, как правило, за счёт отбора газа из подземных хранилищ, которые относят к опасным промышленным объектам.

Калининградское ПХГ расположено на территории Зеленоградского района Калининградской области и при-

урочено к зоне регионального изгиба земной коры. Подобная ситуация оказывает влияние на формирование рифтоподобных и грабенообразных структур, обуславливающих сбросовый тип разломов фундамента и напряженно-деформационное состояние изогнутого слоя.

Подземные резервуары Калининградского ПХГ размещаются в каменной соли. Для нашей страны это первый опыт создания ПХГ в соляной толще. При проектировании каверн в соответствии с СП 123.13330.2012 «Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки» в обязательном порядке производится оценка устойчивости подземных резервуаров, рассчитывается естественное напряженно-деформационное состояние горного массива и его изменение при создании ПХГ. При моделировании используются различные физико-механические, химические, гранулометрические и др. свойства горного массива, а также технологические параметры полостей. Фактическое отклонение от проектных значений способно спровоцировать превышение предельно допустимых величин и привести к разрушению каверны. Кроме этого, циклический процесс эксплуатации ПХГ является значительным фактором, оказывающим техногенно-индуцированное воздействие на разломные зоны и способствующим возникновению деформаций.

Известен опыт применения сейсмологического мониторинга в нашей стране при разработке месторождений углеводородов. Однако при эксплуатации подземных хранилищ газа геодинамический мониторинг включает в себя только маркшейдерско-геодезические, а в некоторых случаях дополняется гравиметрическими наблюдениями. В свете вышесказан-

ного, по мнению авторов, для Калининградского ПХГ, расположенного вблизи крупного населенного пункта и рядом с другим объектом геодинамического воздействия на недра, необходимо проводить в дополнение к применяемым методам и сейсмологический мониторинг.

#### **4. Предложения по совершенствованию геодинамического мониторинга Калининградского ПХГ**

Учитывая отмеченную в последние годы сейсмическую активность Калининградской области, строительство объектов инфраструктуры, горно-геологические условия Невинского месторождения, технологические решения по созданию ПХГ, а также возможность непрогнозируемого развития геодинамических и геомеханических процессов при строительстве и эксплуатации подземных выработок и резервуаров, необходимо создание на территории Калининградской области системы геодинамического мониторинга, включающей сейсмологические исследования как один из основных элементов общего контроля за состоянием недр и окружающей среды.

В данном случае предлагается рассматривать Калининградскую область как систему (рис. 2), представляющую собой совокупность двух источников крупных антропогенных воздействий на недра, геологическую среду и город Калининград.

Удаленность двух производственных объектов друг от друга составляет порядка 37,3 км, между которыми располагается город Калининград. Данный факт подтверждает необходимость создания единого геодинамического мониторинга Калининградской области, ввиду возможного взаимного влияния элементов системы друг на друга.

Известно, что землетрясениям обычно предшествуют процессы накопления напряжений в геологической среде с соответствующими микросейсмическими событиями, в связи с чем авторами статьи разработана блок-схема системы геодинамического мониторинга (рис. 3).

На первом этапе должна быть создана региональная сейсмологическая сеть, причем данная сеть должна быть организована до начала ввода ПХГ и Нивенского рудника в эксплуатацию. В данном случае в качестве исходных материалов можно использовать данные, зарегистрированные группой NORSAR, VASULA, а также архивных

исследований, которые проводились на территории области. По результатам изучения и интерпретации вышеперечисленных материалов необходимо выделить участки с аномально высокой сейсмической активностью. На основе полученной информации, а также с учетом данных горно-геологического обоснования, анализа тектонических нарушений и геологического строения, геомеханических и геодинамических особенностей района осуществляется геодинамическое районирование.

Следующим этапом производится сгущение сейсмологической сети на выделенных аномальных участках, тем самым создается локальная

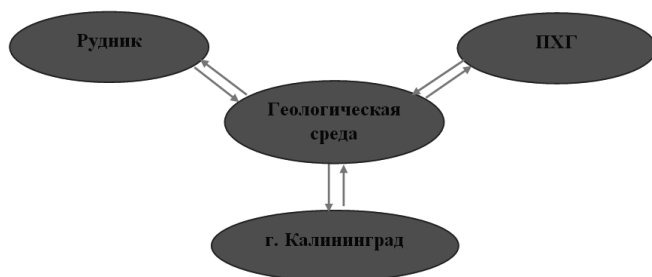


Рис. 2. Схема техногенного воздействия на недра в районе г. Калининград  
Fig. 2. Scheme of technogenic impact on the subsurface in the area of Kaliningrad



Рис. 3. Блок-схема системы геодинамического мониторинга  
Fig. 3. Block diagram of the geodynamic monitoring system

сеть, которая регистрирует события в режиме реального времени. Данный подход позволяет комплексно подойти к вопросу геодинамической безопасности Калининградской области. Например, при регистрации аномально высокой сейсмической активности необходимо внепланово произвести маркшейдерско-геодезические измерения с целью уточнения процесса активизации разломных зон. Заключительным этапом является определение геодинамического риска и сравнение его с пороговым значением, которое должно быть определено при проектировании, и выполнение при необходимости мероприятий по его снижению с дальнейшим формированием новой базы данных.

Как было отмечено выше, индуцированная сейсмическая активность отмечается как в пределах подземных хранилищ газа, так и на калийных рудниках. Для Калининградской области особенностью является близкое расположение столь крупных источников антропогенного воздействия на недра, способных спровоцировать изменение напряженно-деформационного состояния массива. В связи со складывающейся ситуацией авторами предложено рассмотреть геодинамический монито-

ринг в Калининградской области как единую систему на всей территории.

## 5. Выводы.

1. Калининградская область испытывает значительную техногенную нагрузку от развивающейся инфраструктуры Калининграда, а также строящихся вблизи него промышленных предприятий, способных повлиять на геодинамическую ситуацию региона. С учетом произошедших здесь сейсмических событий 2004 года, изменений карты сейсмического районирования, строения земной коры, на повестку встанут вопросы обеспечения геодинамической безопасности данного района.

2. На сегодняшний день основными методами наблюдений за развитием геодинамических процессов на ПХГ являются маркшейдерско-геодезические измерения, возможности которых ограничены для их всестороннего изучения.

3. Предлагается системно подойти к вопросу геодинамического мониторинга Калининградской области, проведя исследования по геодинамическому районированию и включив сейсмологический мониторинг в общую схему исследований происходящих геодинамических процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г., Усиков В.И., Потанчук М.И.* Геодинамическое состояние массива пород Николаевского полиметаллического месторождения и особенности проявления удароопасности при его освоении // Горный журнал. — 2016. — № 12. — С. 13–19. DOI 10.17580/gzh.2016.12.03.

2. *Batugin A., Musina V., Golovko I.* Analysis of geodynamical conditions of region of burning coal dumps location. In: Proceedings of World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS-2017), Praga, on September 11–15, 2017. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95 (2017) 042023. doi :10.1088/1755-1315/95/4/042023

3. *Grünthal G., Minkley W.* Mining induced seismic activity as a source for seismic design load — the necessity of an amendment of the seismic zonation map of the DIN 4149:2005 — 04. [Bergbauinduzierte seismische aktivität als quelle seismischer belastungen zur notwendigkeit der ergänzung der karte der erdbebenzonen der DIN 4149:2005 — 04], Bautechnik. 2005. Vol. 82. No 8, pp. 508 — 513. DOI 10.1002/bate.200590167.



4. *Kozyrev A.A., Semenova I.E., Zhuravleva O.G., Panteleev A.V.* Hypothesis of strong seismic event origin in rasvumchorr mine // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2018. Vol. 12. Pp. 74 – 83. DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-0-74 – 83.
5. *Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R., Davies R.J.* Global review of human-induced earthquakes // Earth-Science Reviews. 2018. Vol. 178. Pp. 438 – 514.
6. *Сластунов С.В., Коликов К.С., Ермак Г.П., Ютяев Е.П.* Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли // Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 46–49.
7. *Лантев Б.В.* Историография аварий при разработке соляных месторождений // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – № 12. – С. 41–46.
8. *Petukhov I., Batugina I.* Bibliography of Rock Bursts // A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands. 1991.
9. *Ковачев С.А.* Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области и на акватории балтийского моря // Физика земли. – 2008. – № 9. – С. 20–31. – ISSN 0002–3337.
10. *Батугина И.М., Петухов И.М.* Методические указания по профилактике горных ударов с учетом геодинамики месторождений // ВНИМИ. – 1980. – С. 48.
11. *Батугина И.М., Петухов И.М.* Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников // Недра. – 1988. – С. 166.
12. *Мельников Н.Н.* Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах // Том 1. Изд. СО РАН. – 2018. – Т. 1. С. 539. ISBN: 978-5-7692-1575-9.
13. *Kundu B., Vissa N.K., Gahalaut V.K.* Influence of anthropogenic groundwater unloading in Indo-Gangetic plains on the 25 April 2015 Mw 7.8 Gorkha, Nepal earthquake // Geophysical Research Letters. 2015. Vol. 42. Pp. 607 – 613.
14. *Batugin A.S., Odintsev B.N., Kolikov K.S., Khotchenkov Ev. V.* Dynamical destruction of rock mass due to excavation of a coal seam. In: Proceeding of the 2018 European Rock Mechanics Symposium “Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses” (EUROCK-2018, Saint-Petersburg, Russia, 22 – 26 May 2018), vol.1, pp. 593 – 598.
15. *Batugin A., Kobylkin S., Musina V.* Effect of waste-rock pile geodynamic position on endogenous fire hazard. Eurasian mining, 2019, No 2. pp. 64 – 69.
16. *Мясков А.В., Попов Е.М., Попов С.М.* О перспективах использования шахт Восточного Донбасса для создания подземных хранилищ газа в единой системе газоснабжения юга России // Горный журнал. – 2018. – № 3. – С. 33 – 36.
17. *Константинова С.А.* Цель и задачи системы геодинамического мониторинга геологической среды Верхнекамского региона // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 8. – С. 134–135.
18. *Dyagilev R.* Induced seismicity and seismic hazard in mining regions. In 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management // SGEM. Albena, Bulgaria. 2015. Vol. 3. No 1, pp. 879 – 886. Code 153999.
19. *Асанов В.А., Паньков И.Л.* Изучение особенностей деформирования соляных пород при длительном нагружении // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 1. – С. 105–109.
20. *Маловичко А.А., Дягилев Р.А., Шулаков Д.Ю.* Мониторинг природной и техногенной сейсмичности на территории Западно-Уральского // Геофизика и математика: Материалы второй Всероссийской конференции. Пермь. – 2001. – С. 367 – 371.
21. *Eremenko, V.A., Galchenko, Y.P., Vysotin, N.G., Kosyreva, M.A., & Yakusheva, E.D.* (2020). Substantiation of convergent technology data for the ilet rock salt mining.

Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 523(1) doi:10.1088/1755–1315/523/1/012030

22. *Guang-chuan L., Xing H., Xing-yu P., Yuan T., Yu-hang Y.* Investigation on the cavity evolution of underground salt cavern gas storages // *Journal of Naturak Gas Science and Engineering*. 2016. Vol. 33. Pp. 118–134.

23. *Tongtao W., Chunhe Y., Jiasong Ch., Daemenc J.J. K.* Geomechanical investigation of roof failure of China's first gas storage salt cavern // *Engineering Geology*. 2018. Vol. 243. Pp. 59–69.

24. *Plotnikova I.M., Nurtaev B.S., Grasso J.R., Matasova L.M., Bossu R.* The character and extent of seismic deformation in the focal zone of Gazli earthquakes of 1976 and 1984,  $M > 7.0$  // *Pure and Applied Geophysics*. 1996. Vol. 147. Pp. 377–387.

25. *Плотникова Л.М., Фленова М.Г., Махмудова В.И.* Методика и результаты исследования влияния разработки Газлийского месторождения на проявление сейсмичности. Наведённая сейсмичность // *Наука*. – 1994. – С. 148–156.

26. *Benetatos C., Málek J., Verga F.* Moment tensor inversion for two micro-earthquakes occurring inside the Hájč gas storage facilities // *J Seismol. Czech Republic*. 2013. Pp. 557–576. DOI 10.1007/s10950–012–9337–0.

27. *Cesca S., Grigoli F., Heimann S., Gonzalez A., Buforn E., Maghsoudi S., Blanch E., Dahm T.* The 2013 September–October seismic sequence offshore Spain: a case of seismicity triggered by gas injection? // *Geophys. J.* 2014. Vol. 198. Pp. 941–953.

28. *Tang L., Zhang M., Sun L., Wen L.* Injection-induced seismicity in a natural gas reservoir in Hutubi, southern Junggar Basin, northwest China // *Transactions of the American Geophysical Union*. 2015. Abstract S13B-2847. **ITAB**

## REFERENCES

1. Rasskazov I., Saksin B., Usikov V., Potapchuk M. Rock mass geodynamics and mining-induced rockbursting at Nikolaev complex deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 13–19. Doi: 10.17580/gzh. [In Russ].

2. Batugin A., Musina V., Golovko I. Analysis of geodynamical conditions of region of burning coal dumps location. In: *Proceedings of World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS-2017)*, Praga, on September 11–15, 2017. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95 (2017) 042023. doi :10.1088/1755-1315/95/4/042023.

3. Grünthal G., Minkley W. Mining induced seismic activity as a source for seismic design load – the necessity of an amendment of the seismic zonation map of the DIN 4149:2005–04. [Bergbauinduzierte seismische aktivität als quelle seismischer belastungen zur notwendigkeit der ergänzung der karte der erdbebenzonen der DIN 4149:2005–04] *Bautechnik*. 2005. Vol. 82. no. 8. Pp. 508–513. DOI 10.1002/bate.200590167.

4. Kozyrev A.A., Semenova I.E., Zhuravleva O.G., Panteleev A.V. Hypothesis of strong seismic event origin in rasvumchorr mine on January 9, 2018. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. Vol. 12. Pp. 74–83. DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83.

5. Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R., Davies R.J. Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 178. Pp. 438–514.

6. Slastunov, S.V., Kolikov, K.S., Ermak, G.P., & Yutyayev, E.P. Safety of coal mining in long-run development. *Gornyi Zhurnal*, 2015(4), pp. 46–49. [In Russ]

7. Laptsev B.V. Historical emergency in the development of salt deposits. *Labor safety in industry*. 2011, no. 12, pp. 41–46. [In Russ].

8. Petukhov I., Batugina I. Bibliography of Rock Bursts. *Balkema*, Rotterdam. 1991.

9. Kovachev S.A. Seismological Observations in the West of the Kaliningrad Region and in the Baltic Sea. *Fizika zemli*. 2008. Vol. 9. Pp. 20–31. ISSN 0002–3337. [In Russ].

10. Batugina I.M., Petuhov I.M. Guidelines for the maintenance checkup of the rock bump given the geodynamics of deposits. *VNIMI*. 1980. Pp. 48. [In Russ].

11. Batugina I.M., Petuhov I.M. Geodynamic zoning of deposits in the design and operation of mines. *Nedra*. 1988. Pp. 166. [In Russ].
12. Geomechanical fields and processes: Experimental-analytical research into initiation and growth of the source of catastrophic events in mining-engineering and natural systems. Melnikov N.N., Chief Editor. *SO RAN*. Novosibirsk, Russia. 2018. Vol. 1. P. 539. [In Russ].
13. Kundu B., Vissa N.K., Gahalaut V.K. Influence of anthropogenic groundwater unloading in Indo-Gangetic plains on the 25 April 2015 Mw 7.8 Gorkha, Nepal earthquake. *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42. Pp. 607 – 613.
14. Batugin A.S., Odintsev B.N., Kolikov K.S., Khotchenkov Ev. V. Dynamical destruction of rock mass due to excavation of a coal seam. In: Proceeding of the 2018 European Rock Mechanics Symposium “Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses” (EUROCK-2018, Saint-Petersburg, Russia, 22 – 26 May 2018), vol.1, pp. 593 – 598.
15. Batugin A., Kobylkin A., Musina V. Effect of waste-rock pile geodynamic position on endogenous fire hazard. *Eurasian mining*, 2019, no. 2. pp. 64 – 69.
16. Myaskov, A.V., Popov, E.M. & Popov, S.M. 2018, “Prospects for the use of mines in East Donbass as underground gas storage facilities in the integral gas-supply system of Southern Russia”, *Gornyi Zhurnal*, , no. 3, pp. 33 – 36.
17. Konstantinova S.A. The purpose and objectives of the system of geodynamic monitoring of the geological environment of the Verkhnekamsk region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2000. Vol. 8. Pp. 134 – 135. [In Russ].
18. Dyagilev R. Induced seismicity and seismic hazard in mining regions. In 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. *SGEM*. Albena, Bulgaria. 2015. Vol. 3. no. 1, pp. 879 – 886. Code 153999. [In Russ].
19. Asanov V.A., Pan'kov I.L. Study of the aspects of salt rocks deformation under prolonged loading. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2010. Vol. 1. Pp. 105 – 109. [In Russ].
20. Malovichko A.A., Dyagilev R.A. Shulakov D.Y. Monitoring of natural and industrial seismicity in the West Ural. *Geofizika i matematika: Materialy vtoroy Vserossiyskoy konferencii*. 2001. Pp. 367 – 371. [In Russ].
21. Eremenko, V.A., Galchenko, Y.P., Vysotin, N.G., Kosyreva, M.A., & Yakusheva, E.D. (2020). Substantiation of convergent technology data for the ilet's rock salt mining. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 523(1) doi:10.1088/1755 – 1315/523/1/012030
22. Guang-chuan L., Xing H., Xing-yu P., Yuan T., Yu-hang Y. Investigation on the cavity evolution of underground salt cavern gas storages. *Journal of Naturak Gas Science and Engineering*. 2016. Vol. 33. Pp. 118 – 134.
23. Tongtao W., Chunhe Y., Jiasong Ch., Daemenc J.J. K. Geomechanical investigation of roof failure of China's first gas storage salt cavern. *Engineering Geology*. 2018. Vol. 243. Pp. 59 – 69.
24. Plotnikova L.M., Nurtaev B.S., Grasso J.R., Matasova L.M., Bossu R. The character and extent of seismic deformation in the focal zone of Gazli earthquakes of 1976 and 1984, M >7.0. *Pure and Applied Geophysics*. 1996. Vol. 147. Pp. 377 – 387.
25. Plotnikova L.M., Fleonova M.G., Mahmudova V.I. Methodology and results of the study on the influence of the Gazli field development leading to seismicity occurrence. [Induced seismicity]. *Nauka*. 1994. Pp. 148 – 156. [In Russ].
26. Benetatos C., Málek J., Verga F. Moment tensor inversion for two micro-earthquakes occurring inside the Hájek gas storage facilities. *J Seismol.* Czech Republic. 2013. Pp. 557 – 576. DOI 10.1007/s10950 – 012 – 9337 – 0.
27. Cesca S., Grigoli F., Heimann S., Gonzalez A., Buforn E., Maghsoudi S., Blanch E., Dahm T. The 2013 September–October seismic sequence offshore Spain: a case of seismicity triggered by gas injection? *Geophys. J.* 2014. Vol. 198. Pp. 941 – 953.

28. Tang L., Zhang M., Sun L., Wen L. Injection-induced seismicity in a natural gas reservoir in Hutubi, southern Junggar Basin, northwest China. *Transactions of the American Geophysical Union*. 2015. Abstract S13B-2847.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Шевчук Степан Васильевич*<sup>1</sup> – заместитель начальника службы главного маркшейдера, Shevchuk.Stepan@yandex.ru;

*Квятковская Светлана Сергеевна*<sup>1</sup> – начальник службы – главный маркшейдер, Sveta17@bk.ru;

*Шевчук Роман Васильевич*<sup>2</sup> – аспирант второго года обучения, Shevchuk002@mail.ru;

*Шерматова Сайера Сидиковна*<sup>2</sup> – аспирант первого года обучения, s\_shermatova@inbox.ru;

*Головко Ирина Владимировна*<sup>2</sup> – старший преподаватель кафедры «Безопасность и экология горного производства», nova-ya08@mail.ru;

<sup>1</sup> ООО «Газпром ПХГ», Санкт-Петербург;

<sup>2</sup> НИТУ «МИСиС».

**Для контактов:** Шевчук С.В., Shevchuk.Stepan@yandex.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Shevchuk S.V.*<sup>1</sup>, Deputy Head of the Chief Mine Surveyor Service, Shevchuk.Stepan@yandex.ru;

*Kvyatkovskaya S.S.*<sup>1</sup>, Head of Service – Chief Mine Surveyor, building 1, Sveta17@bk.ru;

*Shevchuk R.V.*<sup>2</sup>, post-graduate student of the second year of study, Shevchuk002@mail.ru;

*Shermatova S.S.*<sup>2</sup>, post-graduate student of the first year of study, s\_shermatova@inbox.ru;

*Golovko I.V.*<sup>2</sup>, senior lecturer of the department “Safety and ecology of mining”, nova-ya08@mail.ru;

<sup>1</sup> Gazprom UGS LLC, Russia, St. Petersburg

<sup>2</sup> NUST «MISiS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 29.07.2020; получена после рецензии 25.08.2020; принята к печати 01.02.2021.

Received by the editors 29.07.2020; received after the review 25.08.2020; accepted for printing 01.02.2021.

