

## К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОБЪЕКТОВ ОСВОЕНИЯ НЕДР

А. С. Батугин<sup>1</sup>, С. В. Шевчук<sup>1</sup>, С. С. Шерматова<sup>1</sup>, И. В. Головки<sup>1</sup>, Бямбасурэн Зундуйжамц

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

**Аннотация:** На основании представлений о предельно напряженном состоянии земной коры высказывается гипотеза о природе дистанционного взаимодействия объектов освоения недр и связанной с этим составляющей экологической опасности. Из условия, что земная кора находится в своеобразном предельно напряженном состоянии от земной поверхности до некоторой глубины, предложено оценивать расстояние, на котором могут геодинамически взаимодействовать объекты освоения недр. В таком предположении дистанция между геодинамически взаимодействующими объектами может меняться в зависимости от мощности слоя предельно напряженного состояния в земной коре и достигать десятков или даже сотен километров. В качестве примера рассмотрена ситуация с проявлением техногенной сейсмичности в Кузбассе при добыче угля шахтами и разрезом. Проектирование геодинамических полигонов для контроля геомеханических, геодинамических процессов и экологической ситуации на объектах освоения недр предлагается осуществлять с учетом зоны взаимодействия объектов освоения недр. Рекомендации направлены на повышение экологической и промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации производственного объекта и инфраструктуры, находящейся в зоне влияния объекта недропользования.

**Ключевые слова:** объект освоения недр, предельно напряженное состояние земной коры, геодинамическое взаимодействие, геодинамический полигон, экологическая безопасность.

**Благодарности:** Работа выполнена в соответствии с Соглашением о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидии номер 13.2251.21.0035.

**Для цитирования:** Батугин А. С., Шевчук С. В., Шерматова С. С., Головки И. В., Бямбасурэн Зундуйжамц. К вопросу мониторинга геоэкологической опасности при геодинамическом взаимодействии объектов освоения недр // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 63–73. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_101\_0\_63.

### Geoecological hazard monitoring in geodynamic interaction of subsoil use objects

A. S. Batugin<sup>1</sup>, S. V. Shevchuk<sup>1</sup>, S. S. Shermatova<sup>1</sup>,  
I. V. Golovko<sup>1</sup>, Byambasuren Zunduizhamts<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NUST «MISIS», Moscow, Russia

**Abstract:** On the basis of ideas about the critically stressed state of the Earth's crust, a hypothesis is put forward about the nature of the remote interaction of objects of subsoil exploitation and

the associated component of environmental hazard. From the condition that the Earth's crust is in a kind of critically stressed state from the Earth's surface to a certain depth, it is proposed to estimate the distance at which objects of subsoil exploitation can interact geodynamically. Under this assumption, the distance between geodynamically interacting objects can vary depending on the thickness of the critically stressed state layer in the Earth's crust and reach tens or even hundreds of kilometers. The situation with the coal region Kuzbass is considered as an example. It is proposed to design geodynamic test sites to control geomechanical, geodynamic processes and the ecological situation at subsoil exploitation facilities taking into account the interaction zone of such facilities. The recommendations are aimed at improving environmental and industrial safety during the construction and operation of a production facility and infrastructure located in the zone of influence of the subsoil use facility.

**Key words:** object of subsoil exploitation, critically stressed state of the Earth's crust, geodynamic interaction, geodynamic testing ground, environmental safety.

**Acknowledgements:** The study was supported by the Russian Government, Aid Grant Agreement No. 13.2251.21.0035.

**For citation:** Batugin A. S., Shevchuk S. V., Shermatova S. S., Golovko I. V., Byambasuren Zunduizhamts. Geocological hazard monitoring in geodynamic interaction of subsoil use objects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10-1):63–73. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_101\_0\_63.

---

## Введение

Взаимодействие между объектами освоения недр — известное явление в геомеханике и геодинамике, нашедшее, в том числе, отражение в инструктивных документах. В первую очередь, оценка размеров зоны влияния горных выработок важна при решении вопросов геодинамической безопасности. В соответствии с принципом Сен-Венана, взаимодействие объектов происходит в зоне, не превышающей трехкратного размера геомеханического возмущения. Например, подземный рудник и карьер, разрабатывающие месторождения «Апатитовый Цирк» и «Плато Расвумчорр» на Кольском полуострове, расположены в зоне активного взаимного влияния: выработки подземного рудника находятся в бортах карьера и под его дном, отвалы карьера расположены на поверхности над подземными выработками. Проявления горного давления фиксируются в зоне стыковки подземного рудника и карьера чаще, чем на противоположных флангах шахтных полей [1].

Однако результаты различных геолого-геодинамических и геомеханических исследований и сопоставление событий приводят многих исследователей к выводу, что геодинамическое взаимодействие может происходить и между объектами, расположенными друг от друга на больших расстояниях. Например, в работе [2] в качестве примера взаимодействия между глобальными и локальными геодинамико-геомеханическими процессами рассматриваются последствия горного удара 1986 г. на Таштагольском руднике. Смещение крыльев по шахтному дизъюнктиву связывается авторами со смещением по границе Евразийской и Индийской плит. В работе [3] сейсмическое событие с магнитудой 7,8 авторы связывают со взаимодействием обширной области откачки подземных вод и процессами на границе Евразийской и Индийской плит. В работе [4] проводится связь с аварией на Верхнекамском месторождении калийных солей и высокой техногенной нагрузкой во всем Соликамско-Березниковском рай-

оне Пермской области. Неоднократно в научной литературе высказывалось мнение о высокой техногенной нагрузке в Кузбассе, с чем связывают проявление техногенной сейсмичности [5]. В работе [6] авторы делают предположение о взаимном геодинамическом влиянии ареалов закрытых шахт Инты и Воркуты (более 200 км), которое нашло отражение в характере сейсмического процесса в регионе. В работе [7] важным признается оценка региональной составляющей геодинамических процессов при строительстве и эксплуатации подземного хранилища радиоактивных отходов, размеры геодинамического полигона составляют десятки километров. Вопросы геодинамики недр включены в учебные курсы университетов [8]. Из упомянутых источников видно, что имеется интуитивное представление и экспертные оценки о возможности геодинамического взаимодействия объектов, находящихся на больших расстояниях друг от друга.

В работах [9, 10] теоретически и экспериментально обосновываются размеры внешней зоны деформирования массива в районе горных разработок, достигающей 20–30 средних радиусов выработанных пространств. Эти оценки коррелируют с данными В. А. Смирнова (ВНИМИ) о размере области подготовки очага горного удара, составляющей до 15 размеров его очага [11]. Также в сейсмологии известны оценки дальней зоны подготовки землетрясений, достигающей 20–30 радиусов очаговой зоны, например [12].

Геодинамическое взаимодействие между объектами освоения недр признается серьезной угрозой социальному и экологическому благополучию промышленных регионов, особенно наряду с другими опасностями в шахтах [13–20], однако требуется поиск адекватных моделей, объясняющих

и оценивающих такое возможное взаимодействие.

### **Теоретические представления о предельно-напряженном состоянии земной коры**

В 1940-е г. В. Д. Слесарев высказал мысль о наличии впереди очистного забоя разрушенной части угольного пласта, обуславливающей перемещение максимума зоны опорного давления вглубь массива. Эта часть пласта, находящаяся между забоем и максимумом опорного давления, рассматривается сейчас как зона с предельным напряженным состоянием с предельным насыщением ее потенциальной энергией, рис. 1 [21].

В силу того, что уголь в этой зоне находится в предельно напряженном состоянии, воздействие на нее, как, например, добыча угля, вызывает немедленное перераспределение нагрузок в этой зоне и передачу их вглубь массива. Несмотря на то, что угольный пласт в этой зоне деформирован, он сохраняет способность накапливать энергию упругого сжатия.

И. М. Петухов высказал идею о предельно напряженном состоянии верхней части земной коры, возникающем за счет горизонтального тектонического сжатия в слое от поверхности до некоторой глубины. Глубина перехода массива горных пород в предельно напряженное состояние зависит от величин тектонических напряжений. В этой зоне предельно напряженного состояния отдельные части массива (блоки) сохраняют способность накапливать энергию упругого сжатия.

На основе этой гипотезы предложена классификация участков земной коры по степени геодинамической опасности [22]. Поскольку величина запасенной энергии упругого сжатия в слое предельно напряженного состоя-

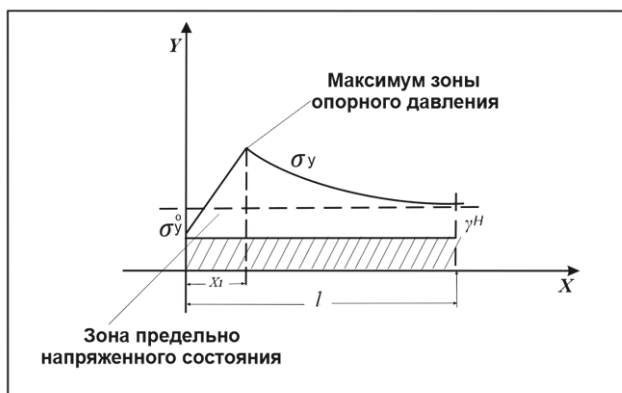


Рис. 1. Зона предельно напряженного состояния массива вблизи забоя [21]  
 Fig. 1. Zone of limit stress state in rock mass surrounding production face [21]

ния пропорциональна квадрату величин действующих тектонических напряжений, то одинаковое техногенное воздействие на массив может вызвать его различную динамическую реакцию, сила которой зависит от мощности этого слоя. В соответствии с этим предлагается выделить участки 1–4 степени по геодинамической опасности. Поскольку очаг сейсмического события как область разрушения представляет собой участок предельно напряженного состояния массива, то мощность слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии, может быть определена по глубине распространения сейсмоактивного слоя, а конфигурация участков — по геометрии блоков земной коры.

В данной работе развивается гипотеза, что представления о предельно напряженном состоянии земной коры могут быть использованы при оценке геодинамического взаимодействия объектов освоения недр, а также разработке рекомендаций по повышению экологической и промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации производственного объекта и инфраструктуры, находящихся в зоне влияния объекта недропользования.

### Гипотеза о природе геодинамического взаимодействия объектов освоения недр

Слой предельно напряженного состояния земной коры можно представить состоящим из ячеек массива, находящихся в предельно напряженном состоянии, дискретно распределенных в объеме этого слоя. Сами эти ячейки, в силу принципа иерархичности, также могут состоять из множества ячеек более низшего ранга, находящихся в предельно напряженном состоянии. Строение одной из ячеек слоя предельно напряженного состояния земной коры можно пояснить с помощью рис. 2, на котором показаны очаги сейсмических явлений при техногенном воздействии на массив, в частности, закачку жидкости под давлением [23]. Авторы настоящей статьи выделяют на рис. 2 эллиптическую зону, заполненную очагами сейсмических событий, которая, по их мнению, и иллюстрирует отражение предельно напряженного состояния участка земной коры.

Самые крупные такие ячейки могут иметь размеры по вертикали от поверхности до глубины распространения

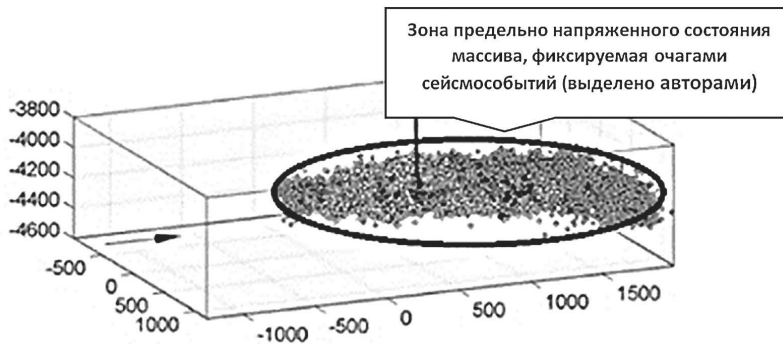


Рис. 2. Авторская интерпретация данных о проявлении сейсмичности при гидровоздействии на массив скважины 4 в Хабанеро, Австралия, в 2012 г. (из [23] со ссылкой на Baisch et al., 2015)

Fig. 2. Author's interpretation of data on seismicity in hydraulic impact on rock mass at well 4 at Habanero in Australia in 2012 ([23] with reference to Baisch et al., 2015)

сейсмоактивного слоя. При техногенном воздействии на такую ячейку, на зону предельно напряженного состояния, начинается процесс перераспределения напряжений, сопровождающийся пригрузкой ее периферийных частей. Аналогично тому, как воздействие на забой смещает максимум зоны опорного давления вглубь массива на новые участки, воздействие на область предельно напряженного состояния земной коры приводит к увеличению ее периферийных частей, то есть, при техногенном воздействии на земную поверхность геомеханическое воздействие оказывается на новые части массива, которые находятся от места приложения нагрузки на некотором расстоянии. Геодинамические процессы на этих новых участках, включая сейсмические события, возможно и проявляются как граница дальней зоны техногенного воздействия. Можно принять, что максимальный размер такой ячейки предельно напряженного состояния соответствует глубине расположения сейсмоактивного слоя земной коры, т.е. мощности упомянутого выше слоя, находящегося в предельно напряженном состоянии в данном регионе.

На основании вышеизложенного можем принять глубину расположения сейсмоактивного слоя земной коры  $H_{ca}$  за размер зоны геомеханического возмущения. Тогда, опираясь на теоретические заключения и опубликованные результаты экспериментальных исследований, примем, что максимальный радиус геодинамического влияния объекта освоения недр  $R$  составляет в среднем  $(10 - 20)H_{ca}$ .

### Экспериментальная часть (на примере Кузбасса)

В качестве примера рассмотрим центральную часть Кузбасса (см. рис. 3). Шахты Польшаевская и Октябрьская расположены вблизи г. Польшаево. Процессы техногенной сейсмичности регистрируются здесь с 2006 г. По данным из работы [24] максимальные глубины гипоцентров составляют 3 км. Другим известным объектом по проявлению техногенной сейсмичности является Бачатский угольный разрез. По оценкам, глубина гипоцентра землетрясения, произошедшего в июне 2013 г., составила 4 км [5, 6].

Примем среднее значение для соотношения. С учетом  $n = 15$  и  $= 3$  и 4 км для г. Польшаево и Бачатского разреза

соответственно, получим для шахт г. Польшаево  $R = 45$  км, а для Бачатского разреза —  $R = 60$  км., т.е. указанные объекты могли бы взаимодействовать друг с другом, даже находясь на расстоянии 105 км ( $45 \text{ км} + 60 \text{ км}$ ). В действительности это расстояние меньше, и зоны геодинамического влияния шахт и разреза перекрываются, обеспечивая геодинамическое взаимодействие объектов, рис. 3. При этом в зону взаимодействия попадают и другие действующие шахты

и разрезы Кузбасса, в том числе с проявлением техногенной сейсмичности.

**Обсуждение результатов.  
Направления совершенствования  
в организации и закладке  
геодинамических полигонов**

В соответствии со ст. 24 Закона РФ «О недрах» недропользователь обязан проводить комплекс маркшейдерских и иных наблюдений, направленных на прогнозирование опасных ситуаций.

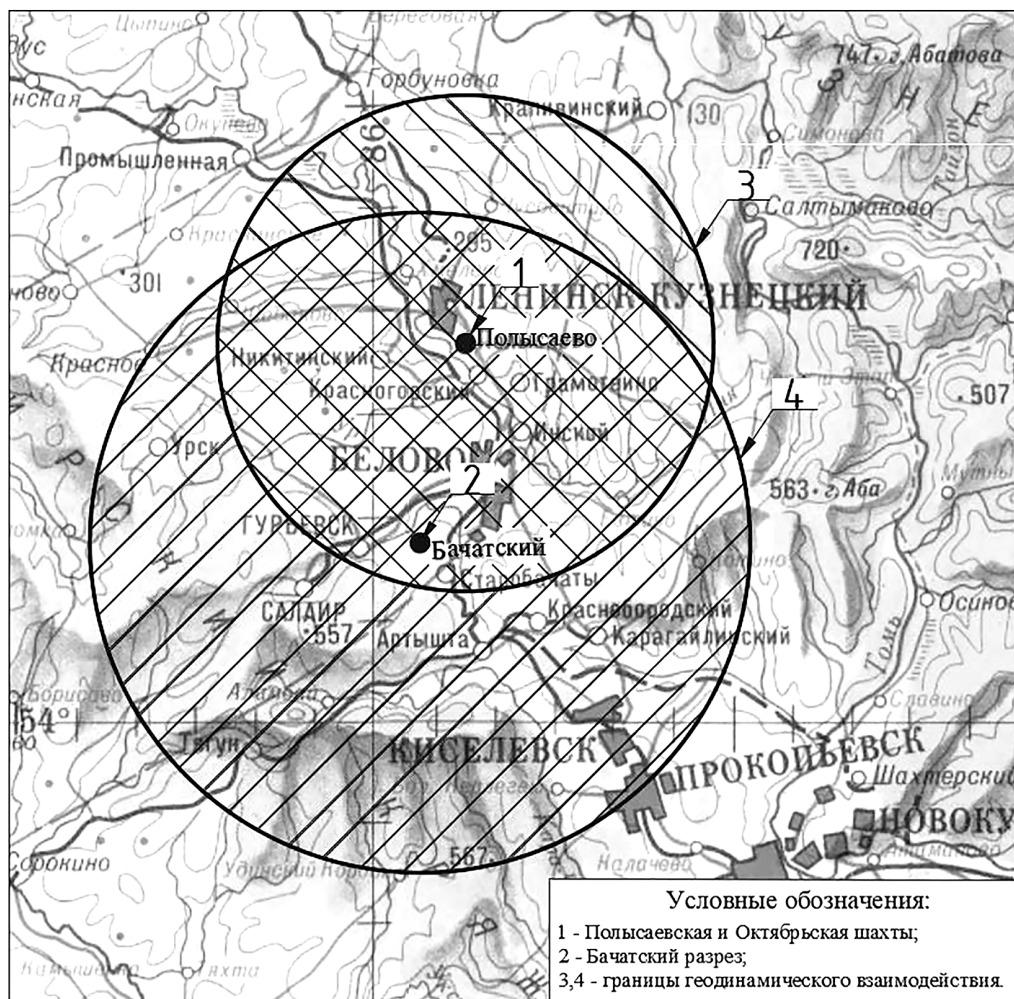


Рис. 3. Области геодинамического взаимодействия объектов освоения недр на примере Кузбасса

Fig. 3. Zones of geodynamic interaction between subsoil use objects in terms of Kuzbass

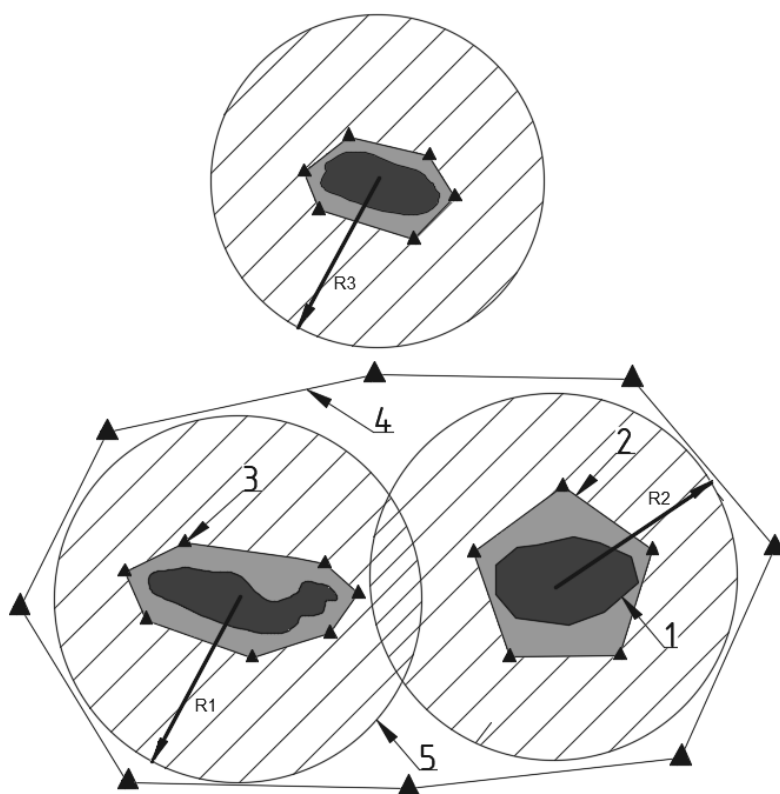
Однако наблюдения на геодинамических полигонах локализованы непосредственно вблизи объекта [25, 26], что не позволяет оценивать взаимодействие нескольких объектов сразу и их влияние на геозекологическую ситуацию. Поскольку геодинамическое взаимодействие объектов выступает как важный геозекологический фактор, параметры геодинамического полигона предлагается выбирать с учетом суммарной площади взаимодействующих между собой зон геодинамического влияния.

По значениям мощности слоя земной коры, находящегося в предельно напряженном состоянии в районе каждого из имеющихся  $i$  объектов, предлагается рассчитать размеры  $R_i$  зон их геодинамического взаимодействия по формуле:

$$R_i = n \cdot Hca_i,$$

где  $n$  — соотношение между размером очага землетрясения  $r$  и размером области его подготовки  $R$ ,  $n = r / R$ , принятые для данного района.

При пересечении подобных областей геодинамический полигон закла-



Условные обозначения:

- 1 - контур геодинамически опасного объекта;
- 2 - территория локального геодинамического полигона и его опорные пункты 3;
- 4 - контур объединенного геодинамического полигона;
- 5 - зоны геодинамического взаимодействия объектов освоения недр с линейным размером  $R_i$ .

Рис. 4. Контур объединенного геодинамического полигона для нескольких геодинамически взаимодействующих объектов

Fig. 4. Outlines of an associate geodynamic testing ground for a few geodynamically interacting objects

дывают таким образом, чтобы он включал все области, имеющие взаимные пересечения, рис. 4.

Предлагаемая рекомендация может быть использована при обосновании проектов региональных геодинамических полигонов, а также в процедуре ОВОС для повышения экологической и промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации производственного объекта и инфраструктуры, находящихся в зоне влияния объекта недропользования. Также предлагаемый подход может быть использован при решении актуальных вопросов направления использования закрытых шахт, при оценке дальнедействующего влияния очагов землетрясений [27, 28].

## Выводы

На основании того, что земная кора находится в предельно напряженном состоянии от земной поверхности до некоторой глубины, можно оценить расстояние, на котором возможно геодинамическое взаимодействие объектов освоения недр. Для условий, например, рассмотренного примера для Кемеровской области это расстояние может достигать 105 км.

Проектирование геодинамических полигонов для контроля геомеханических, геодинамических процессов и экологической опасности на объектах освоения недр предлагается осуществлять с учетом зоны геодинамического взаимодействия объектов освоения недр.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedotova Y., Kozyrev A., Akkuratov M., Zhukova S. Rock mass watering impact on induced seismicity in junction zone between underground mine and open-pit mine. // Abstract book ESC 2010, 6 – 10 September 2010, Montpellier, France/32nd European Seismological Commission General Assembly Abstract book (ESC 2010). 2010. p. 157.
2. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. Недра. – 1988. – 166 с.
3. 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 // Geophys. Res. Lett., 2015, Vol. 42, pp. 10607 – 10613.
4. Константинова С. А., Хронусов В. В., Дубинский А. В. Об актуальности проблемы геодинамической безопасности при подземной разработке верхнекамского месторождения калийных и калийно-магниевого солей // Проблемы геодинамической безопасности. 2-е международное рабочее совещание. Санкт-Петербург. 1997. С. 94 – 101.
5. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Цирель С. В. Природно-техногенная сейсмичность Кузбасса // ФТПРПИ, 2013, № 6, с. 20 – 34.
6. Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. М.: ИДГ РАН, 2015. – 364 с.
7. Kamnev, E. N., Morozov, V. N., Tatarinov, V. N., Kaftan, V. I. Geo-dynamic aspects of investigations in underground research laboratory (Nizh-nekansk massif). Eurasian Mining, 2018, no 2, pp. 11 – 14. DOI:10.17580/em.2018.02.03.
8. Каледина Н. О., Коликов К. С., Кобылкин С. С. Кафедра Безопасности и экологии горного производства: прошлое, настоящее и будущее // Горный журнал. – 2018. – №3. – С. 21 – 28. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04
9. Панжин А. А., Панжина Н. А. Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 3. – С. 171 – 183.
10. Panzhin, A. Identification of geodynamic movements based on the results of geodetic monitoring measurements. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2020, 192, DOI:10.1051/e3sconf/202019204001.



11. Смирнов В. А. Физические процессы в очагах горных ударов и региональный прогноз их по геофизическим полям: Автореф. дисс. д-ра техн. наук. — С.-Петербург: ВНИМИ, 1991. — 51 с.
12. Садыкова А. Модель сейсмического процесса в периоды подготовки сильных землетрясений северного Тянь-Шаня / Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии. — Алмааты. — 2004. С. 244—249.
13. Баловцев С. В., Скопинцева О. В. Оценка влияния повторно используемых выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2—1. — С. 40—53. DOI: 10.25018/0236—1493—2021—21—0-40—53.
14. Kaledina, N., & Malashkina, V. Preliminary and post-working degassing for effective and safe mining. Paper presented at the 23rd Annual International Pittsburgh Coal Conference, PCC — Coal-Energy, Environment and Sustainable Development, 2006.
15. Кобылкин С. С., Кобылкин А. С. Трехмерное моделирование при проведении инженерных расчетов по тактике горноспасательных работ // Горный журнал. — 2018. — №5. — С. 82—85. DOI: 10.17580/gzh.2018.05.13
16. Kulikova, E. Y., Ivannikov, A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1425(1) doi:10.1088/1742—6596/1425/1/012062
17. Педчик А. Ю., Чмыхалова С. В., Шевчук С. В., Шенцева С. В. Об учете изменчивости характеристик горного массива по трассе горных выработок в проектных и сметных расчетах // Горный журнал. — 2016. № 12. С. 37—39.
18. Dzhumayan, N. R., Nastavkin, A. V. Maceral and chemical compositions of brown coals from the mugunsk deposit // Solid Fuel Chemistry, 2019, Vol. 53 no 4, pp. 197—201. DOI:10.3103/S0361521919040050.
19. Galchenko, Yu. P., Eremenko V. A., Myaskov A. V., Kosyreva M. A. Solution of geoeological problems in underground mining of deep iron ore deposits // Eurasian Mining, 2018. no 1, pp. 35—40. DOI: 10.17580/em.2018.01.08
20. Сластунов С. В., Ютяев Е. П., Мазаник Е. В., Садов А. П., Понизов А. В. Обеспечение метанобезопасности шахт на основе глубокой дегазации угольных пластов при их подготовке к интенсивной подготовке // Уголь. -2019. № 7. С. 42—47. DOI:10.18796/0041—5790—2019—7-42—47.
21. Петухов И. М. Горные удары на угольных шахтах. 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: ФГУП «Гос. НИИ горн. геомеханики и маркшейд. дела — МНЦ ВНИМИ», 2004. — 237 с.
22. Batugin, A. S., A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat // Geodesy and Geodynamics, 2021, no 12, pp. 21—30. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.10.002>
23. Foulger G. R., Wilson M. P., Gluyas J. G., Julian B. R., Davies R. J. Global re-view of human-induced earthquakes // Earth-Science Reviews, 2018, Vol. 178, pp. 438—514.
24. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В., Фатеев А. В. Семин А. Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. — 2009. Т.12, №1. С. 37—43.
25. Mustafin, M. G., & Grischenkova, E. N. Earth surface monitoring on undermined territories. Paper presented at the Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects — 11th Conference of the Russian-German Raw Materials, 2018, pp. 95—102.
26. Zhang, Y., Feng, H., & Qu, J. Case study on the surface settlement induced by shielding curved twin tunnels // Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2019, Vol. 41, no 1, pp. 89—96. DOI:10.13255/j.cnki.jusst.2019.01.014
27. 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.

28. Ребецкий Ю. Л., Лермонтова А. С. О проблеме дальнедействующего влияния очагов землетрясений // Вулканология и сейсмология.- 2018. № 5. С. 1–14, DOI:10.1134/S0742046318050068. **ПЛАБ**

## REFERENCES

1. Fedotova Y., Kozyrev A., Akkuratov M., Zhukova S. Rock mass watering impact on induced seismicity in junction zone between underground mine and open-pit mine. Abstract book ESC 2010, 6–10 September 2010, Montpellier, France/32nd European Seismological Commission General Assembly Abstract book (ESC 2010), 2010, p. 157.
2. Batugina I. M., Petuhov I. M. *Geodinamicheskoe rajonirovanie mestorozhdenij pri proektirovanii i ekspluatatsii rudnikov* [Geodynamic zoning of deposits in the design and operation of mines]. Moscow: Nedra, 1988. 166 p. [In Russ]
3. 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. *Geophys. Res. Lett.*, 2015, Vol. 42. pp.10607–10613.
4. Konstantino.va S. A., Hronusov V. V., Dubinskij A. V. On the relevance of the problem of geodynamic safety in the underground development of the Verkhnekamskoe potash and potassium-magnesium salts deposit. *Problems of geodynamic safety. 2nd international workshop*. St. Petersburg, 2017, pp. 94–101. [In Russ]
5. Yakovlev, D. V., Lazarevich, T. I., Tsirel', S. V. Natural and induced seismic activity in Kuzbass. *Journal of Mining Science*, 2013, Vol.49, no. 6 pp. 862–872. DOI:10.1134/S1062739149060038 [In Russ]
6. Adushkin V. V., Turuntaev S. B. *Tekhnogennaya sejsmichnost' inducirovannaya i triggernaya* [Technogenic seismicity induced and trigger]. Moscow: IDG RAN, 2015. 364 p. [In Russ]
7. Kamnev, E. N., Morozov, V. N., Tatarino.v, V. N., Kaftan, V. I. Geodynamic aspects of investigations in underground research laboratory (Nizhnekansk massif). *Eurasian Mining*, 2018, no. 2, pp. 11–14. DOI:10.17580/em.2018.02.03.
8. Kaledina N. O., Kolikov K. S., Kobylkin S. S. Department of Safety and Ecology of Mining: Past, Present and Future. *Gornyj zhurnal*, 2018, no. 3, pp.21–28. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04 . [In Russ]
9. Panzhin A. A., Panzhina N. A. Monitoring of geodynamic processes in mining enterprises and urban areas. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2007, no. 3, pp. 171–183. [In Russ]
10. Panzhin, A. Identification of geodynamic movements based on the re-sults of geodetic monitoring measurements. Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2020, Vol.192. DOI:10.1051/e3sconf/202019204001.
11. Smirno.v V. A. *Fizicheskie processy v ochagah gornyh udarov i regional'-nyj prognoz ih po geofizicheskim polyam* [Physical processes in the foci of rock burts and their regional prediction by geophysical fields], Doctor's thesis. Saint Petersburg: VNIMI, 1991. 51 p. [In Russ]
12. Sadykova A. Model of the seismic process during the preparation periods for strong earthquakes in the northern Tien Shan. *Modern geodynamics and seismic risk in Central Asia*, 2004, pp. 244–249.
13. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V. Assessment of the influence of re-turned mines on aerological risks at coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2021, Vol. 2–1, pp. 40–53. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236–1493–2021–21–0-40–53. [In Russ]
14. Kaledina, N., & Malashkina, V. Preliminary and post-working degassing for effective and safe mining. Paper presented at the 23rd Annual International Pittsburgh Coal Conference, PCC Coal-Energy, Environment and Sustainable Development. 2006.
15. Kobylkin S. S., Kobylkin A. S. 3D modeling in engineering calculations for mine rescue tactics. *Gornyj zhurnal*, 2018, no. 5, pp.82–85. [In Russ]
16. Kulikova, E. Y., Ivannikov, A. L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. *Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1425(1) DOI:10.1088/1742–6596/1425/1/012062.

17. Pedchik A., Chmykhalova S., Shevchuk S., Shentseva S. Allowance for variability of rock mass characteristics along the line of underground excavations in design calculation and cost estimation. *Gornyj zhurnal*, 2016, no. 12, pp. 37 – 39. [In Russ]
18. Dzhumayan, N. R., Nastavkin, A. V. Maceral and chemical compositions of brown coals from the mugunsk deposit. *Solid Fuel Chemistry*, 2019, Vol. 53, no. 4, pp. 197 – 201, DOI:10.3103/S0361521919040050.
19. Galchenko Yu. P., Eremenko V. A., Myaskov A. V., Kosyreva M. A. Solution of geocological problems in underground mining of deep iron ore deposits. *Eurasian Mining*, 2018, no. 1, pp. 35 – 40, DOI: 10.17580/em.2018.01.08.
20. Slastunov, S. V., Yutyaev, E. P., Mazanik, E. V., Sadov, A. P., Ponizov, A. V. Ensuring methane safety of mines on the basis of deep degassing of coalseams in their preparation for intensive development. *Ugol*, 2019, no. 7, pp. 42 – 47, DOI:10.18796/0041 – 5790 – 2019 – 7-42 – 47. [In Russ]
21. Petuhov I. M. *Gornye udary na ugol'nyh shahtah* [Rock bursts in coal mines]. Saint-Petersburg: VNIMI, 2004. 204 p. [In Russ]
22. Batugin A. A proposed classification of the Earth's crustal areas by the level of geodynamic threat. *Geodesy and Geodynamics*, 2021, no. 12, pp. 21 – 30. DOI:10.1016/j.geog.2020.10.002.
23. 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.
24. Emanov A. F., Emanov A. A., Leskova E. V., Fateev A. V. Semin A. Yu. Seismic activation at coal mining in Kuzbass. *Fiz. Mezomekh.*, 2009, Vol. 12, no. 1 pp. 37 – 43. [In Russ]
25. Mustafin, M. G., Grischenkova, E. N. Earth surface monitoring on undermined territories. Paper presented at the Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects 11th Conference of the Russian-German Raw Materials, 2018, pp. 95 – 102.
26. Zhang, Y., Feng, H., & Qu, J. (2019). Case study on the surface settlement induced by shielding curved twin tunnels. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2019, Vol. 41(1), pp. 89 – 96. DOI:10.13255/j.cnki.jusst.2019.01.014.
27. Myaskov A. V., Popov, E. M., Popov, S. M. 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*, 2018, no. 3, pp. 33 – 36. DOI:10.17580/gzh.2018.03.05 [In Russ]
28. Rebetsky Y. L., Lermontova, A. S. On the long-range influence of earthquake rupture zones. *Journal of Volcanology and Seismology*, 2018, Vol.12 no. 5, pp. 341 – 352. DOI:10.1134/S0742046318050068.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Батугин Андриан Сергеевич*<sup>1</sup> – докт. техн. наук, профессор, as-bat@mail.ru;  
*Шевчук Степан Васильевич*<sup>1</sup> – аспирант, Shevchuk.Stepan@yandex.ru;  
*Шерматова Сайера Сидиковна*<sup>1</sup>, аспирант, s\_shermatova@inbox.ru;  
*Головко Ирина Владимировна*<sup>1</sup> – ст. преподаватель, no.va-ya08@mail.ru;  
*Бямбасурэн Зундуйжамц*<sup>1</sup> – аспирант, zundui.rgi@gmail.com;  
<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», Москва, Россия.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Batugin A. S.*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), professor, as-bat@mail.ru;  
*Shevchuk S. V.*<sup>1</sup>, post-graduate student, Shevchuk.Stepan@yandex.ru;  
*Shermatova S. S.*<sup>1</sup>, post-graduate student, s\_shermatova@inbox.ru;  
*Golovko I. V.*<sup>1</sup>, Lecturer, no.va-ya08@mail.ru;  
*Byambasuren Zunduijhamts*<sup>1</sup>, post-graduate student, zundui.rgi@gmail.com;  
<sup>1</sup> NUST «MISiS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 30.06.2021; получена после рецензии 29.07.2021; принята к печати 10.09.2021.  
 Received by the editors 30.06.2021; received after the review 29.07.2021; accepted for printing 10.09.2021.