

Оценка вертикальных ускорений литосферных плит в интересах снижения рисков в угледобывающей отрасли Арктической зоны*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-31-35>

Авторы обращают внимание на геодинамические угрозы для угледобывающей отрасли, обусловленные опасными геологическими процессами эндогенного и экзогенного характера на территории Арктической зоны. В статье рассматривается проблема оценки вертикального ускорения континентальных литосферных плит применительно к Сибирскому кратону, характеризующемуся высокой геодинамической активностью. Выдвигается предположение, что знание вертикальных ускорений в литосфере дает возможность снизить риски в угледобывающей отрасли Арктической зоны, отличающейся сложной геодинамикой, а также приблизиться к решению задач предсказания катастроф в районах угледобычи (землетрясений, карстовых провалов, оползней). Обозначено социально-экономическое значение выявления, прогнозирования и предотвращения геодинамических угроз и обеспечения геодинамической безопасности арктических территорий для развития угледобывающей отрасли и Арктического региона.

Ключевые слова: Арктическая зона, безопасность, вертикальные ускорения, геодинамическая безопасность, геодинамические угрозы, геодинамический процесс, литосферная плита, математическая модель, минерально-сырьевой капитал, недропользование, природная рента, природный капитал, риск, сейсмический риск, угледобывающая отрасль, угледобыча, устойчивое развитие.

Для цитирования: Оценка вертикальных ускорений литосферных плит в интересах снижения рисков в угледобывающей отрасли в Арктической зоне / В.А. Минаев, А.И. Овсяник, А.О. Фаддеев и др. // Уголь. 2023. № 7. С. 31-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-31-35>.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы углеобразования происходили в отдельные периоды геологической истории Земли с различной интенсивностью. Углеобразование, реализуясь на круп-

МИНАЕВ В.А.

Доктор техн. наук, профессор,
профессор Кафедры специальных
информационных технологий
Московского университета МВД России им. В.Я. Кикотя,
117997, г. Москва, Россия,
e-mail: m1va@yandex.ru

ОВСЯНИК А.И.

Доктор техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Безопасность жизнедеятельности»
Финансового университета
при Правительстве РФ,
105187, г. Москва, Россия,
e-mail: aiovsyani@fa.ru

ФАДДЕЕВ А.О.

Доктор техн. наук, доцент,
главный научный сотрудник
Дирекции по Арктическим программам
Московского государственного
технического университета имени Н.Э. Баумана
105005, Москва, Россия,
e-mail: fao1@mail.ru

КИСЕЛЕВА С.П.

Доктор экон. наук, профессор,
профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности»
Финансового университета при Правительстве РФ,
член Комиссии РАН по изучению научного наследия
выдающихся ученых и Комиссии РАН
по техногенной безопасности,
119991, г. Москва, Россия,
e-mail: svetlkiseleva@yandex.ru

* Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных в 2023 году за счёт бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета.

ных площадях и локальных участках всех континентов, где возникает благоприятное сочетание фитологических, климатических, палеогеографических, а также геотектонических предпосылок, приобрело региональный характер. Процессы углеобразования определяют процессы угледобычи, которые, в зависимости от способов добычи угля, различаются качеством добываемого угля, рентабельностью и технологичностью угледобычи, уровнем безопасности производственной деятельности, уровнем и характером негативного экологического и климатического воздействия на окружающую природную среду.

На развитие угледобывающей отрасли влияют угрозы природного, техногенного, экономического, социального, политического и иного характера, свойственные для определенного региона. Современный геодинамический режим Арктической зоны обуславливает обращение специального внимания на геодинамические угрозы развития угледобывающей отрасли, связанные с опасными геологическими процессами эндогенного и экзогенного характера.

Основной структурной составляющей земной коры являются литосферные плиты. Литосферные плиты лежат на пластичном слое верхней мантии – астеносфере, по последним научным представлениям играющей главную роль в движении земной коры. Вещество астеносферы в результате тепловой конвекции медленно «течет», увлекая за собой блоки литосферы и вызывая их горизонтальные перемещения. Если же вещество астеносферы поднимается или опускается, это приводит к вертикальному движению земной коры [1, 2, 3, 4].

Миграция плит подтверждена прямыми измерениями скорости плит методом интерферометрии излучения от далеких квазаров и измерениями с помощью спутниковых навигационных систем. Скорость горизонтального движения плит различная и варьируется от 1 до 6 см в год. Приведенные значения скоростей характеризуют движения плит как единых структурных образований литосферы. Однако достаточно хорошо известно, что плиты имеют блочную структуру. Отдельные блоки помимо того, что движутся в составе плиты, испытывают собственные горизонтальные и вертикальные движения, что хорошо подтверждается экспериментальными исследованиями [5, 6]. Кроме того, в последнее время отмечается тенденция ускорения движения литосферных плит, отражаясь в возникновении земных катастроф (землетрясений, карстовых провалов, оползней и других подобных явлений), усилении в этой связи геодинамических опасностей для районов угледобычи.

В связи с этим возникла необходимость построения специальной математической модели ускорения литосферных плит для достоверных оценок геодинамических рисков для территорий Арктической зоны Российской Федерации, где осуществляется угледобыча. Модель призвана содействовать эффективному решению задач в области выявления, прогнозирования и предупреждения геодинамических угроз в интересах обеспечения геодинамической безопасности и устойчивого развития угледобывающей отрасли Арктической зоны.

СВЕДЕНИЯ О МОДЕЛИ

Для построения математической модели оценки вертикальных ускорений потребовался значительный спектр геофизических данных – распределение значений поверхностного теплового потока и упругих модулей Ламе, плотность геологической среды на различных глубинах, топографический рельеф местности, конфигурация поверхности Мохо, а также информация о скоростях современных вертикальных тектонических движений [7].

Структурно математическая модель включала уравнения, которые учитывают весь вышеуказанный комплекс геофизических данных, и, что особенно важно, влияние на литосферную плиту геодинамических процессов, действующих в вертикальном направлении.

В результате авторами получены расчетные соотношения, позволяющие не только количественно оценить величины вертикальных ускорений, но и построить распределенное поле их значений.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределенные оценки величин вертикальных ускорений на основе модели выполнены для территории, ограниченной между параллелями 60° с. ш. и 68° с. ш., а также между меридианами 120° в. д. и 138° в. д. При проведении численных оценок величин вертикальных ускорений получены весьма значимые, но и неожиданные результаты (рис. 1).

Значимыми они являются в том смысле, что исследователи еще ни в одном регионе планеты не оценивали количественно литосферные вертикальные ускорения, тем более – в их распределенном аспекте. Сегодня только начинают вести речь об ускорениях, которые испытывают литосферные плиты. Авторам же статьи удалось исключительно математически, «на кончике пера», выполнить эти оценки.

Неожиданными результаты оказались в том аспекте, что авторами предполагалось, что вертикальные литосферные ускорения связаны с проявлением солнечно-земных либо лунно-земных связей [8, 9] и по порядку должны соответствовать величинам солнечных или лунных ускорений, порождающих возмущения в земной коре этими космическими объектами.

Однако эти предположения не подтвердились. Известно, что порядок лунных ускорений составляет 10^{-4} м/с², а солнечных – 10^{-3} м/с² [9]. Согласно же численным оценкам авторов, порядок вертикальных литосферных ускорений оказался равным 10^{-2} м/с² (см. рис. 1). Отметим, что и аномалии гравитационного поля в изостатической редукции [10] не играют особой роли, поскольку вносят в вертикальные литосферные ускорения величины порядка 10^{-5} м/с². Кроме того, характер пространственного распределения изостатических аномалий для исследуемого региона (рис. 2) совершенно не соответствует структуре поля вертикальных литосферных ускорений (см. рис. 1).

Следовательно, космические факторы и гравитационные аномалии оказываются ни при чем, а причину следует искать исключительно в процессах, протекающих в мантии и земной коре. На взгляд авторов, мантийные процессы задают общую тенденцию в движении литосферных плит, «тон-

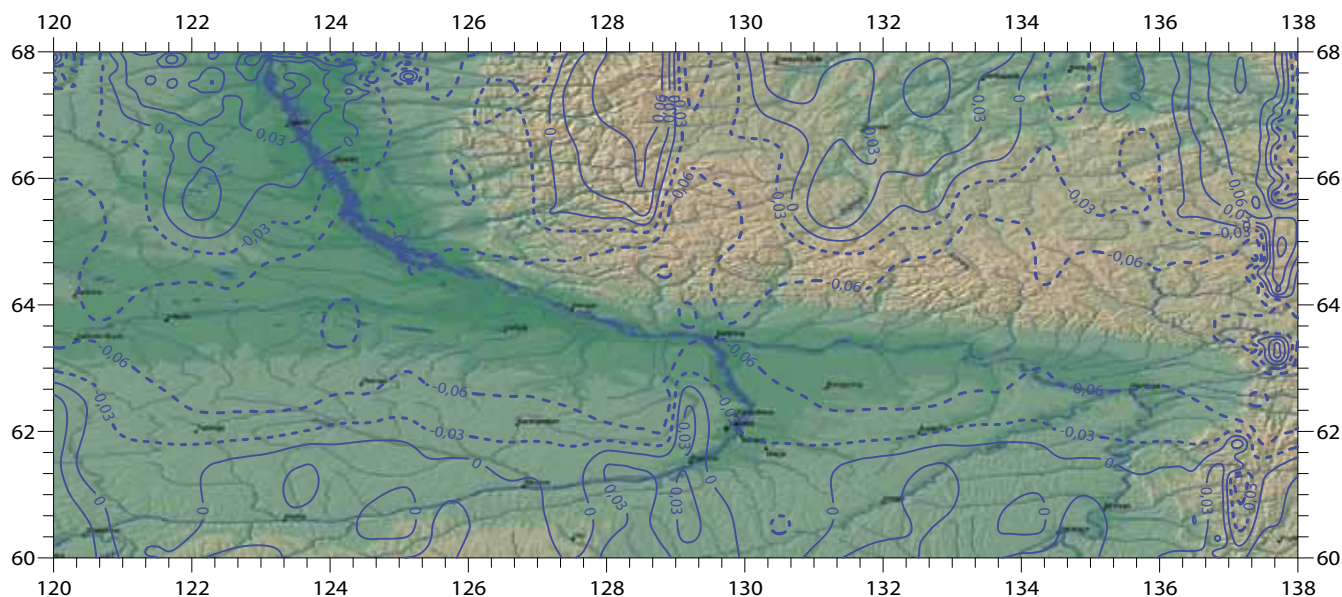


Рис. 1. Эквипотенциальное распределение литосферных вертикальных ускорений (m/s^2) в упругом объеме модельной геологической среды. Сечение изолиний – $0,03 m/s^2$

Fig. 1. Equipotential allocation of lithospheric vertical accelerations (m/s^2) in an elastic volume of a simulated geological medium. The contour interval is $0,03 m/s^2$

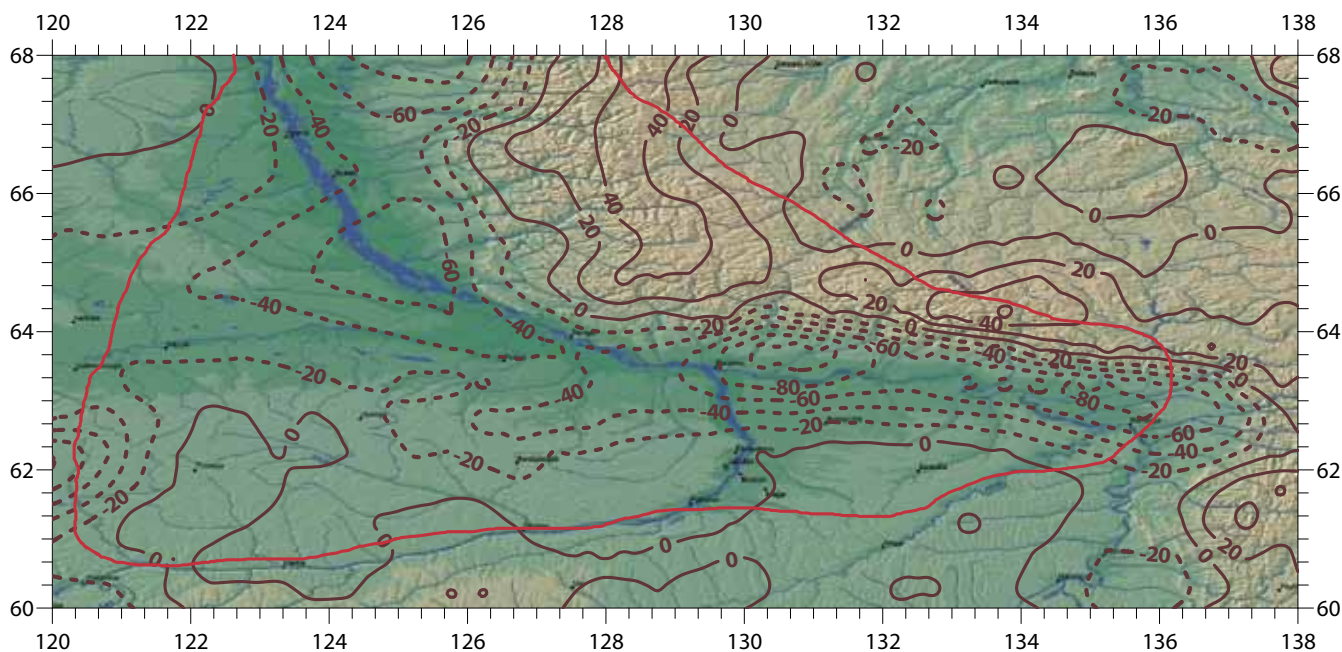


Рис. 2. Эквипотенциальное распределение изостатических аномалий (мГал) на территории исследуемого региона. Сечение изолиний – 20 мГал. Красной линией обозначены контуры угленосной площади Ленского бассейна

Fig. 2. Equipotential allocation of isostatic anomalies (mGal) in the surveyed area.

The contour interval is 20 mGal. The red line indicates the boundaries of the coal-bearing area of the Lena basin

кости» же следует искать в самой земной коре. И главная причина, отражающая характер и особенности пространственного распределения поля вертикальных литосферных ускорений, кроется в самих литосферных процессах.

Для более глубокого понимания указанной причины необходимы новые исследования, направленные на изучение горизонтальных движений в земной коре на

различных глубинах. Определив характер этих движений, структурные особенности перемещений в геологической среде, можно не только выявить истинную причину, порождающую вертикальные литосферные ускорения, но и подойти к решению важной задачи реконструкции горизонтальной многоуровневой глубинной динамики земной коры, напрямую определяющей геодинамические

риски и опасности в угледобывающих районах, в частности, на угленосной площади Ленского бассейна [11] (см. рис. 2).

Выявление, прогнозирование и предотвращение геодинамических угроз имеют важное социально-экономическое значение для Арктической зоны. Природный капитал Арктики характеризует стоимость обособленных природных ресурсов, приносящих природную ренту в условиях высокого риска [12]. Природная рента, возникающая от использования минерально-сырьевого капитала Арктических территорий, имеет природно-климатическую, геополитическую и геоэкономическую специфику проявления риска разработки полезных ископаемых [12]. Деятельность угледобывающих компаний характеризуется особыми рентными отношениями недропользования, которые обусловлены приоритетом безопасного ведения горных работ над экономической эффективностью добывающих компаний. В угледобывающей отрасли извлечение сверхприбыли за счет снижения затрат на обеспечение безопасности ведения горных работ обуславливает дополнительные риски для ее развития. В интересах обеспечения безопасности и устойчивого развития угледобывающей отрасли рекомендуется использовать расширенную типизацию экономической политики угледобывающей компании на базе соответствующих целевых стратегических приоритетов ее развития [13]. Представленные в статье результаты исследования призваны способствовать эффективному и безопасному использованию минерально-сырьевого капитала и получению максимальной природной арктической ренты, а также расширенному воспроизводству человеческого капитала на территории Арктической зоны [14, 15].

ВЫВОДЫ

Предотвращение геодинамических угроз и обеспечение геодинамической безопасности территорий имеют важное значение для развития угледобывающей отрасли и экономики Арктического региона.

В статье представлены результаты моделирования и количественных оценок вертикальных литосферных ускорений, построены иллюстративные карты-схемы применительно к исследуемому региону.

Главной причиной, порождающей вертикальные ускорения в литосферных плитах, являются процессы, протекающие в мантии, а характер и особенности пространственного распределения поля ускорений следует искать в самих литосферных процессах.

Реконструкция горизонтальной многоуровневой глубинной динамики земной коры, в особенности ее верхних горизонтов, в том числе – на базе полученных результатов, позволяет по-новому подойти к пониманию и разрешению проблемы пространственного и временного прогноза не только катастрофических геодинамических процессов, но и таких опасностей, как карстовые провалы, оползни,

оседания, что очень важно для обеспечения безопасности в угледобывающей отрасли, строительстве и при развитии транспортной инфраструктуры территорий Арктической зоны Российской Федерации.

Развитие теории и практики в сфере выявления, прогнозирования и предотвращения геодинамических угроз – залог эффективного, рационального и безопасного использования минерально-сырьевого капитала в интересах развития угледобывающей отрасли и экономики Арктического региона.

Список литературы

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
2. Глико А.О., Парфенюк О.И. Тепловой режим литосферы и мантии Земли – геотермические исследования в ИФЗ РАН // Физика Земли. 2019. № 1. С. 28-41.
3. Трубицын В.П. Проблемы глобальной геодинамики // Физика Земли. 2019. № 1. С. 180-198.
4. Stasey F.D., Loper D.E. Thermal History of the Core and Mantle // Phys. Earth Planet. Inter. 1984. P. 99-115.
5. Гласко М.П., Ранцман Е.Я. Морфоструктурные узлы – места активизации природных процессов // Доклады Академии наук. 1996. Т. 350. № 3. С. 397-400.
6. Географические информационные системы и дистанционное зондирование Земли. URL: <http://gis-lab.info/qa/3dviz-ag.html> (дата обращения: 15.06.2023 г.)
7. Минаев В.А., Овсяник А.И., Фаддеев А.О. Вертикальные ускорения литосферных плит как источники рисков жизнедеятельности в арктической зоне: современная модель / Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы VII международной научно-практической конференции в 5 частях. 2023. С. 316-324.
8. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Павлова С.А. Космофизические процессы и земные сейсмические риски // Спецтехника и связь. 2015. № 4. С. 13–18.
9. Геодинамические риски и космические факторы / В.А. Минаев, А.О. Фаддеев, М.П. Сычев и др. // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. 2015. Вып. 6. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2015-6> (дата обращения: 15.06.2023).
10. Короновский Н.В. Изостазия // Науки о Земле. 2001. Т. 7. № 11. С. 73-78.
11. Минаев В.А., Степанов Р.О., Фаддеев А.О. Арктические риски: моделирование, комплексная оценка, управление. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. 420 с.
12. Угольный арктический доход: классификация и методология оценки / Ю.В. Разовский, Е.Ю. Горенкова, С.П. Киселева и др. // Уголь. 2018. № 7. С. 42-44. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-42-44.
13. Экономическая политика формирования стратегического видения угледобывающей компании / Ю.В. Разовский, Я.Д. Вишняков, С.П. Киселева и др. // Уголь. 2018. № 6. С. 63-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-63-66.
14. Арктический путь / Ю.В. Разовский, Я.Д. Вишняков, Е.Ю. Савельева и др. // Уголь. 2019. № 4. С. 36-38. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-36-38.
15. Киселева С.П. Экологическая безопасность инновационного развития. Тамбов: Издательство Р.В. Першина, 2013. 312 с.

Original Paper

UDC 51.3.51.8:622.211 © V.A. Minaev, A.I. Ovsyanik, A.O. Faddeev, S.P. Kiseleva, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 7, pp. 31-35
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-31-35>

Title

**ASSESSMENT OF VERTICAL ACCELERATIONS OF LITHOSPHERIC PLATES
 IN THE INTERESTS OF REDUCING RISKS IN THE ARCTIC ZONE COAL MINING INDUSTRY**

Authors

Minaev V.A.¹, Ovsyanik A.I.², Faddeev A.O.³, Kiseleva S.P.^{4,5}

¹ Moscow University of the Ministry of the Interior of the Russian Federation named after V.Y. Kikot, Moscow, 117997, Russian Federation

² Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 105187, Russian Federation

³ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

⁴ Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 105187, Russian Federation

⁵ Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991, Russian Federation

Authors Information

Minaev V.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Special Information Technologies, e-mail: m1va@yandex.ru

Ovsyanik A.I., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of "Life Safety", e-mail: ovsyanik58@gmail.com

Faddeev A.O., Doctor of Engineering Sciences, Associate professor, Chief Scientific Officer Directorates for Arctic Programs, e-mail: fa01@mail.ru

Kiseleva S.P., Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of "Life Safety", member of the RAS Commission for the Study of the Scientific Heritage of Outstanding Scientists and the RAS Commission on Technogenic Safety, e-mail: svetlkiseleva@yandex.ru

Abstract

The authors draw attention to geodynamic threats to the coal mining industry caused by dangerous geological processes of endogenous and exogenous nature on the territory of the Arctic zone. The article deals with the problem of estimating the vertical acceleration of continental lithospheric plates in relation to the Siberian craton, characterized by high geodynamic activity. It is suggested that the knowledge of vertical accelerations in the lithosphere makes it possible to reduce risks in the coal mining industry of the Arctic zone, characterized by complex geodynamics, as well as to approach the solution of problems of predicting terrestrial catastrophes in areas of ice mining (earthquakes, karst sinkholes, landslides). The socio-economic importance of identifying, forecasting and preventing geodynamic threats and ensuring the geo-dynamic security of the Arctic territories for the development of the coal mining industry and the Arctic region is outlined.

Keywords

Arctic zone, Safety, Vertical accelerations, Geodynamic safety, Geodynamic threats, Geodynamic process, Lithospheric plate, Mathematical model, Mineral resource capital, Subsoil use, Natural rent, Natural capital, Risk, Seismic risk, Coal mining industry, Coal mining, Sustainable development.

References

1. Gzovsky M.V. Fundamentals of Tectonophysics. Moscow, Nauka Publ., 1975, 536 p. (In Russ.).
2. Gliko A.O. & Parfenyuk O.I. Thermal regime of the Earth's lithosphere and mantle: geothermal studies at the Institute of Physics of the Earth. *Fizika zemli*, 2019, (1), pp. 28-41. (In Russ.).
3. Trubitsyn V.P. Challenges of global Geodynamics. *Fizika Zemli*, 2019, (1), pp. 180-198. (In Russ.).
4. Stasey F.D. & Loper D.E. Thermal History of the Core and Mantle. *Phys. Earth Planet. Inter.* 1984. P. 99-115.

5. Glasko M.P. & Rantzman E.Ya. Morphostructural nodes: loci of natural process activation. *Doklady Akademii nauk*, 1996, Vol. 350, (3), pp. 397-400. (In Russ.).

6. Geographic information systems and remote sensing. Available at: <http://gis-lab.info/qa/3dviz-ag.html> (accessed 15.06.2023).

7. Minaev V.A., Ovsyanik A.I. & Faddeev A.O. Vertical accelerations of lithosphere plates as sources of life risks in the Arctic zone: a modern model. *Civil Defence for Peace and Security. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference* (in 5 parts). 2023, pp. 316-324. (In Russ.).

8. Minaev V.A., Faddeev A.O. & Pavlova S.A. Cosmophysical processes and terrestrial seismic risks. *Spectehnika i svyaz'*, 2015, (4), pp. 13-18. (In Russ.).

9. Minaev V.A., Faddeev A.O., Sychev M.P., Bondar K.M., Pavlova S.A. & Kuzmenko N.A. Geodynamic risks and cosmic space factors. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, 2015, (6). Available at: <http://ipb.mos.ru/ttb/2015-6> (accessed 15.06.2023).

10. Koronovsky N.V. Isostasy. *Nauki o Zemle*, 2001, Vol. 7, (11), pp. 73-78. (In Russ.).

11. Minaev V.A., Stepanov R.O. & Faddeev A.O. Arctic risks: modelling, integrated assessment, management. Moscow, Bauman Moscow State University Publ., 2022, 420 p. (In Russ.).

12. Razovskiy Yu.V., Gorenkova E.Yu., Kiseleva S.P., Kosyakova I.V. & Makolova L.V. Coal Arctic revenue: classification and assessment methodology. *Ugol*, 2018, (7), pp. 42-44. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-7-42-44.

13. Razovskiy Yu.V., Vishnyakov Ya.D., Kiseleva S.P., Ruban M.S. & Gorenkova E.Yu. Economic policy of strategic vision formation coal mining company. *Ugol*, 2018, (6), pp. 63-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2018-6-63-66.

14. Razovskiy Yu.V., Vishnyakov Ya.D., Saveleva E.Yu., Kiseleva S.P. & Makolova L.V. The Arctic way. *Ugol*, 2019, (4), pp. 36-38. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-36-38.

15. Kiseleva S.P. Environmental safety of innovative development. Tambov: R.V. Pershin Publ., 2013, 312 p. (In Russ.).

Acknowledgements

The paper is based on the results of research carried out in 2023 and supported by the budgetary funds under the state assignment of the Financial University.

For citation

Minaev V.A., Ovsyanik A.I., Faddeev A.O. & Kiseleva S.P. Assessment of vertical accelerations of lithospheric plates in the interests of reducing risks in the Arctic zone coal mining industry. *Ugol'*, 2023, (7), pp. 31-35. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-31-35.

Paper info

Received May 22, 2023

Reviewed June 14, 2023

Accepted June 26, 2023