



**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА И КРЕПИ  
ВЕРТИКАЛЬНОГО СТВОЛА ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ЦЕЛИКА**

**А. А. Андреев, Д. А. Котиков, М. А. Вильнер**

*НЦ Геомеханики и проблем горного производства, Санкт-Петербургский горный университет,  
E-mail: aa-andlex@yandex.ru, E-mail: hromokot@list.ru, E-mail: mary.vilner@gmail.com,  
21 линия Васильевского острова 2, г. Санкт-Петербург 199106, Россия*

Представлена методика проведения оценки состояния ствола ВС-3 и вмещающего массива на руднике “Октябрьский” Октябрьского месторождения для обеспечения безопасного ведения очистных и подготовительных работ в условиях подработки массива богатых руд, с помощью которой можно проводить количественный и качественный анализ напряженно-деформированного состояния массива на обрабатываемых участках и делать выводы о мерах охраны выработок.

*Геомеханический прогноз, рудник, вертикальный ствол, нарушенность крепи, устойчивость выработок*

**METHODOLOGY FOR ESTIMATION OF ROCK MASS AND MINE SHAFT  
LINING STRAIN STATE DURING PILLAR RECOVERY**

**A. A. Andreev, D. A. Kotikov, and M. A. Vilner**

*Scientific center on Geomechanics and mining, Saint-Petersburg Mining University,  
E-mail: aa-andlex@yandex.ru, E-mail: hromokot@list.ru, E-mail: mary.vilner@gmail.com  
21 liniya Vasil'yevskogo ostrova 2, Saint-Petersburg 199106, Russia*

The article presents calculation methodology for evaluating both the technical conditions of the VS-3 mine shaft and the state of rock mass at the Oktyabrsky mine of Oktyabrsky deposit for the purpose of providing for the safety of mining operations while under-mining rich ores. The proposed method serves as a basis for quantitative and qualitative analysis of the rock mass stress-strain state in the developed areas and inferences about appropriate protective measures for mine workings.

*Geomechanical estimation, ore mine, mine shaft, lining fracturing, opening strength*

Основа сырьевой базы ПАО “ГМК “Норильский никель” — месторождения сульфидных медно-никелевых руд “Талнахское” и “Октябрьское” [1]. Обеспечение геодинамической и геотехнической безопасности рудников является в настоящее время серьезной проблемой. Методы оценки состояния выработок, действующие на предприятиях, требуют их совершенствования с учетом постоянного изменения положения фронта работ и соответственно напряженно-деформированного состояния массива в окрестности ствола.

В статье представлена методика оценки деформационного состояния ствола ВС-3, расположенного в зоне ведения очистных работ при приближении их фронта. Отработка руд в районе ствола ведется слоевой и камерной системами разработки с закладкой пространства твердеющей смесью ангидрито-шлако-цементного состава. Предусмотрено оставление предохранительного целика, рассчитанного в соответствии с “Указаниями по охране сооружений и природных объектов, находящихся в зоне влияния подземных горных работ на рудниках Талнахского и Октябрьского месторождений” [2]. На период построения целика отработка вкрапленных и медистых руд не планируется и не учитывается. Очевидно, что при отработке этих руд, харак-

теризующихся большими площадями и вынимаемыми мощностями, параметры сдвижения массива горных пород в зоне подработки будут отличаться от условий выемки только богатых руд. В связи с этим стоит задача оценить влияние отработки всех типов руд на состояние ствола ВС-3 на различных стадиях.

*Геологическая характеристика участка.* Месторождение “Октябрьское” находится в сложной по строению зоне Норильско-Хараелахского разлома, в узлах пересечения его с северной частью Норильской и южной частью Хараелахской мульды. Геологическое строение этой части месторождения осложняется развитием просадочных структур. Рудная зона представлена тремя промышленными типами сульфидных медно-никелевых руд, залегающих в интервалах глубин от 450 до 1050 м: богатыми, вкрапленными в интрузии и медистыми (прожилково-вкрапленными во вмещающих породах). Вмещающие породы представлены аргиллитами, доломитами, габбро-диабазами и габбро-долеритами (магматические) и песчано-алевролитоглинистыми породами (четвертичные отложения). Октябрьское месторождение склонно к горным ударам и с глубины 700 м является опасным.

Объект исследования — запасы охранного целика ВС-3, который является одним из четырех вентиляционных стволов участка. Абсолютная отметка поверхности в месте заложения ствола +136 м, отметка забоя –970 м. Мерой охраны ствола предусмотрено оставление целика, построенного с учетом отработки богатых руд и закладки выработанного пространства. В его пределах залежь имеет неправильную форму с север-северо-восточным падением под углом 15–30° и локализована в интервале глубин –700 ÷ –850 м. Условия строительства и параметры крепи вертикальных стволов следующие: глубина заложения 970 м, ориентировочная величина горизонтальных напряжений 10 МПа, диаметр ствола в свету 5.5 м, средняя глубина разработки в районе ствола 880 м, крепь монолитная, бетонная.

*Определение зон влияния ведения работ.* Выполнено построение зон опасных деформаций поверхности при комплексной отработке залежей богатых, медистых и вкрапленных руд. согласно п. 2.3 “Указаний...” [2] способом вертикальных разрезов. При расчете коэффициентов подработанности земной поверхности  $N$  на разрезах вкрест простирания и по простиранию учитывалась длина пролета и средняя глубина разработки. При  $N > 1$  существуют условия полной подработки, при  $N < 1$  — неполной.

*Методика оценки состояния вертикального ствола.* Выполнен расчет ожидаемых деформаций по глубине ствола на разных стадиях отработки залежей для оценки влияния очистных работ по добыче богатых и медистых руд на состояние ствола ВС-3 и разработки мер его защиты. Начальное состояние соответствует положению горных работ на конец 2018 г. (стадия 1), стадия 2 — отработке 30 % запасов целика, стадия 3 — 65 % запасов, стадия 4 — завершению отработки (полная выемка всех запасов).

В соответствии с Б.24-Б.25 “Указаний...” [2] для определения влияния на земную поверхность отработки нескольких рудных залежей вычислялись ожидаемые сдвиги и деформации каждой из них, после чего результаты суммировались. Расчет выполнялся по авторской методике [4–6], в которой параметры сдвижений находились последовательно для каждого горизонта. В таблице представлены результаты расчетов деформаций ствола по состоянию на конец 2018 г.

Анализ значений деформаций массива, вмещающего ствол, на данной стадии отработки медистых и богатых руд показывает, что предельно допускаемые горизонтальные деформации [8, 9] превышены для нескольких участков ствола (на горизонте –200 м — по сжатию и растяжению, на интервале –400 ÷ –600 м — по растяжению); предельно допускаемые вертикальные деформации превышены на интервале –200–300 м (сжатие). По совокупности горизонтальных и вертикальных деформаций в наиболее сложных условиях оказывается участок ствола в районе горизонтов –200–500 м.

Суммарные показатели сдвижений и деформаций

Горизонт	Оседание ствола, м	Горизонтальное сдвижение, м		Полное горизонтальное смещение на юго-запад, м	Горизонтальные деформации		Вертикальные деформации
		на запад	на юг		запад-восток	север-юг	
132.00	0.683	-0.193	-0.176	0.710	0.706	-0.00281	0.000659
0.00	0.390	-0.137	-0.110	0.413	0.405	-0.00241	0.000567
-100.00	0.270	-0.121	-0.080	0.296	0.281	-0.00188	0.000450
-200.00	0.182	-0.111	-0.063	0.214	0.193	-0.00105	0.000357
-300.00	0.115	-0.105	-0.044	0.156	0.123	0.00007	0.000208
-400.00	0.078	-0.077	-0.027	0.110	0.083	0.00105	0.000010
-500.00	0.067	-0.057	-0.014	0.087	0.068	0.00171	-0.000088
-600.00	0.013	-0.021	-0.000	0.025	0.013	0.00107	0.000000

Примечание. – означает направление на запад (падение) или юг (простираение); + — направление на восток (падение) или север (простираение)

Сравнение полученных расчетных результатов с данными натурных наблюдений за состоянием крепи ствола, которые отражены на карте нарушений (рис. 1), показывает их хорошую сходимость [7]. Обследование крепи ниже отметок –600–700 м после 2010 г. не проводилось из-за значительных разрушений крепи. Для прогноза интенсивности нарушений крепи ствола степень нарушенности классифицирована по балльной системе: трещина — 1 балл, небольшой вывал — 2 балла, масштабный вывал — 5 баллов. При оценке крепь ствола была разбита на участки по глубине, а результаты оценки ретроспективно просуммированы с нарастающим итогом. Результаты оценки состояния крепи вертикального ствола, вычисленные последовательным суммированием, представлены на рис. 2. Видно, что развитие нарушений на определенном участке ствола носит экспоненциальный характер, что подтверждается высоким значением коэффициентов аппроксимации линий трендов построенных графиков нарушений крепи ствола ВС-3.

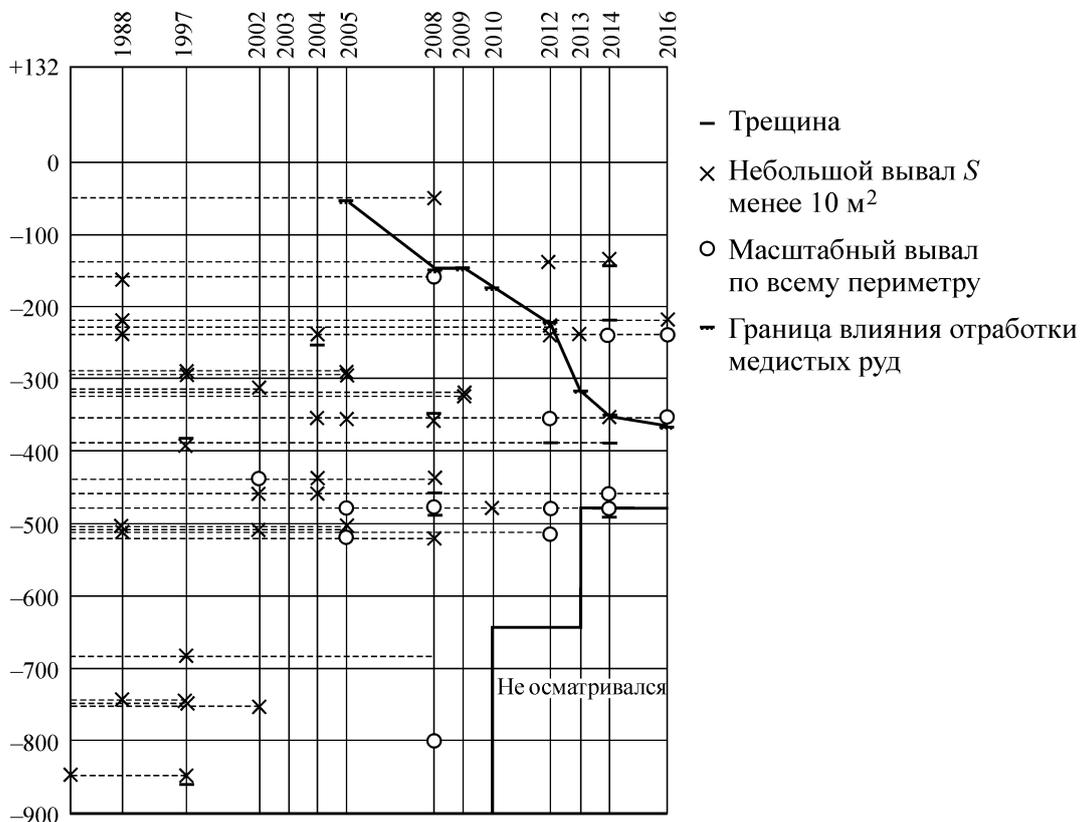


Рис. 1. Развитие нарушений крепи ВС-3

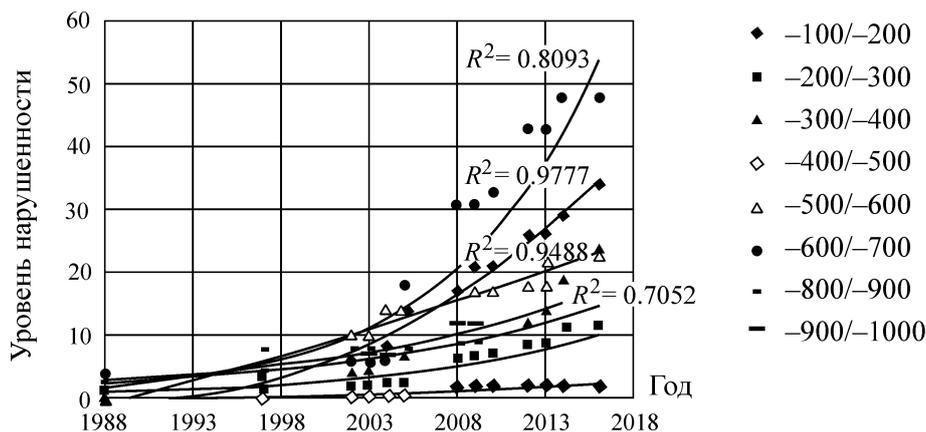


Рис. 2. Развитие нарушений крепи ВС-3

На рис. 3 изображена схема перемещения устья ствола на разных стадиях отработки предохранительного целика.

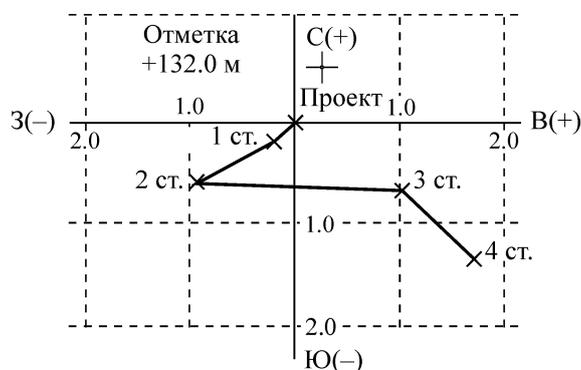


Рис. 3. Схема перемещения устья ствола (отм. + 132.0) по годам: 1 ст. — 2018; 2 ст. — 2026; 3 ст. — 2033; 4 ст. — 2038

Анализ полученных данных показал следующее:

- горизонтальные деформации в направлении по простиранию существенно ниже, чем по падению, и в максимально негативный период третьей стадии превышают предельные на растяжение для монолитной бетонной крепи ствола до 8 раз в обоих вариантах;
- вертикальные деформации на всех стадиях отработки — растягивающие, превышают критические значения, начиная со второй стадии, примерно в 50 раз;
- направление горизонтальных смещений оси ствола на разных стадиях отработки меняется: в первой трети на всех горизонтах оно юго-западное, в оставшееся время — юго-восточное;
- абсолютные величины горизонтальных смещений горизонтов ствола между стадиями достигают 2.5 м;
- отработка 30 % запасов на участке вызывает оседание устья ствола до 5–6 м, что составляет до 65 % от общей расчетной величины оседания при полной отработке запасов;
- деформации земной поверхности при отработке 30 % запасов превышают допустимые значения как для зданий, так и для оборудования.

## ВЫВОДЫ

Предложенная методика оценки геомеханического состояния вмещающего массива на отработываемых участках использована при анализе вентиляционного ствола ВС-3 участка РО-ФВ рудника “Октябрьский”. Рассмотрен вариант отработки запасов в охранном целике ствола при условии отработки всех типов руд на различных стадиях вплоть до полной отработки. Показано, что при развитии горных работ по направлению к стволу или в непосредственной близости от него негативное воздействие возрастает по экспоненциальному закону, что может привести к выходу ствола из строя.

Установлено, что характер нарушений крепи связан с повышенными неравномерными сжимающими горизонтальными или вертикальными деформациями (образование сколов, заколов, разнонаправленных трещин), либо с повышенными растягивающими деформациями вдоль оси ствола в результате оседания массива горных пород в ходе проведения очистных работ (образование горизонтальных трещин, серии отслоений в единой горизонтальной плоскости). Метод расчета имеет высокую достоверность и в дальнейшем будет использован для прогноза смещений при отработке участка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Cherepovitsin A. E., Lipina S. A., and Evseeva O. O.** An innovative approach to the development of the mineral resource potential of the Arctic zone of the Russian Federation, Notes of the Mining Institute, 2018, pp. 438–444 (in Russian) [**Череповицын А. Е., Липина С. А., Евсеева О. О.** Инновационный подход к освоению минерально-сырьевого потенциала арктической зоны РФ // Записки Горного института. — 2018. — Т. 232. — С. 438–444.]
2. **Guidelines** for the protection of structures and natural objects located in the zone of influence of underground mining at the mines of Talnakh and Oktyabrsky deposits. Norilsk, Russia, 2006 (in Russian) [**Указания** по охране сооружений и природных объектов, находящихся в зоне влияния подземных горных работ на рудниках Талнахского и Октябрьского месторождений, Норильск, 2006.]
3. **Kuranov A. D., Zuev B. Y., and Istomin R. S.** The forecast deformations of the ground surface during mining under protected objects, Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects, 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2019, pp. 39–50.
4. **Mirzaev G. G. and Yagodkin V. D.** A simplified method of measuring the loads on the support of a mine shaft and the displacements of the surrounding rock mass, Notes of the Mining Institute, 1969, issue 57(1), pp. 84–88 (in Russian) [**Мирзаев Г. Г., Ягодкин В. Д.** Упрощенный метод замера нагрузок на крепь вертикального ствола и смещений окружающего породного массива // Записки Горного института, — 1969. — Т. 57 (1). — С. 84–88.]
5. **Demenkov P. A., Goldobina L. A., and Trushko O. V.** A method for predicting the deformation of the earth's surface during the construction of pits in dense urban areas using the “slurry wall” method, Notes of the Mining Institute, 2018, issue 233, pp. 480–486 (in Russian) [**Деменков П. А., Голдобина Л. А., Трушко О. В.** Метод прогноза деформации земной поверхности при устройстве котлованов в условиях плотной городской застройки с применением способа “Стена в грунте” // Записки Горного института. — 2018. — Т. 233. — С. 480–486.]
6. **Rozhnov E. S.** Calculation of displacements and deformations using functions of typical curves expressed analytically, Notes of the Mining Institute, 2011, issue 190, pp. 297–300 (in Russian) [**Рожнов Е. С.** Расчет сдвижений и деформаций с использованием функций типовых кривых, выраженных аналитически // Записки Горного института. — 2011. — Т. 190. — С. 297–300.]
7. **Chanyshev A. I. and Abdulin I. M.** Determination of plasticity zone in rock mass with a long cylindrical opening based on the boundary displacement measurements, Journal of Mining Science, 2016, vol. 52, no. 5, pp. 885–891 [**Чанышев А. И., Абдулин И. М.** Определение зоны пластических деформаций в массиве горных пород в протяженной выработке круглого сечения по смещениям контура // ФТПРПИ. — 2016. — № 5. — С. 885–891].
8. **Kazikaev D. M. and Sergeev S. V.** Diagnosis and monitoring of the stress state of the lining of mine shafts, Moscow, Gornaya kniga, 2011, 244 pp. (in Russian) [**Казикаев Д. М., Сергеев С. В.** Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. — М.: Горная книга, 2011. — 244 с.]
9. **Bulychev N. S., Abramson H. I., and Mishedchenko A. D.** Mine shaft lining, Moscow, Nedra, 1978, 301 pp. (in Russian) [**Булычев Н. С. Абрамсон Х. И., Мишедченко А. Д.** Крепь вертикальных стволов шахт. — М.: Недра, 1978. — 301 с.]