

References

1. Mendecki A. J. Seismic Monitoring in Mines. London : Chapman and Hall, 1997.
2. ISS Hardware Training Course, 2012. Available at: <http://www.issi.co.za/training/hardware.html> (accessed: May 28, 2015).
3. Yakovlev D. V., Mulev S. N., Yakovlev V. A. et al. Sistema seismicheskogo monitoringa GITS (System of seismic monitoring GITS). Sbornik nauchnykh trudov Nauchno-issledovatel'skogo instituta gornoy geomekhaniki i marksheyderskogo dela (Collection of scientific proceedings of Scientific-Research institute of mining geomechanics and mine surveying). Responsible editor: D. V. Yakovlev. Saint Petersburg : Scientific-Research institute of mining geomechanics and mine surveying (VNIMI), 2012.
4. Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na Talnakhskom i Oktyabrskom mestorozhdeniyakh, sklonnykh k gornym udaram (Guidelines on safe mining at Talnakh and Oktyabrskoe deposits, liable to rock bumps). Norilsk, 2007. (in Russian)
5. Cichowicz A., Spottiswoode S. M., Linzer L. M. et al. Improved seismic locations and location techniques. Pretoria : University of Pretoria, 2005.
6. Essrich F. Review of Seismicity in Sequential Grid Mining on Elandsrand. Internal Report, Reference No. 012/98, Elandsrand Mine, AngloGold West Wits Operations, 3 February 1998.
7. Spottiswoode S. M., Milev A. The use of waveform similarity to define planes of mining-induced seismic events. Tectonophysics. 1998. Vol. 289.
8. Tsirel S. V., Taratinskiy G. M., Mulev S. N. Metodika gruppovoy lokalizatsii tekhnogennykh seismicheskikh sobyitii pri vedenii gornyykh rabot v glubokikh rudnikakh (Cluster location procedure for technogeneus seismic events in deep mines). Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science. 2011. No. 3. pp. 36–46.
9. Tsirel S. V., Mulev S. N., Petrushina V. F. Variatsii i anizotropiya skorostey rasprostraneniya seismicheskikh voln v napryazhennykh massivakh na glubokikh rudnikakh (Variations and anisotropy of spreading rates of seismic waves in stressed massifs on deep mines). Gornaya geomekhanika i marksheyderskoe delo (Mining geomechanics and mine surveying). Saint Petersburg : Scientific-Research institute of mining geomechanics and mine surveying (VNIMI), 2009.

УДК 622.831.012.2

А. Г. АНОХИН, А. А. БАЗИН (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
А. А. АНДРЕЕВ, С. Д. КРУЗИН (ОАО «ВНИМИ»)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ РАЗРЕЗКИ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ X-1(0) НА ВОСТОЧНОМ ФЛАНГЕ ШАХТЫ 2 РУДНИКА «ТАЙМЫРСКИЙ»*



А. Г. АНОХИН,
 директор
 Центра геодинамической
 безопасности,
 канд. техн. наук



А. А. БАЗИН,
 ведущий специалист
 Центра геодинамической
 безопасности



А. А. АНДРЕЕВ,
 зав. Норильским сектором
 лаборатории рудных
 и нерудных месторождений



С. Д. КРУЗИН,
 ведущий специалист
 лаборатории геомеханики
 рудных и нерудных
 месторождений

Рудник «Таймырский» разрабатывает центральную часть Октябрьского месторождения медно-никелевых руд. В поле рудника расположены промышленные запасы богатых руд, сосредоточенные в пределах залежей X-1(0), C-2, C-3 и C-4 (рис. 1).

В целях восполнения выбывающих запасов и объемов добычи богатых медно-никелевых руд проведены и представлены в настоящей статье исследования возможности создания дополнительного фронта очистных работ на участке залежи X-1 (0) рудника «Таймырский» с последующей добычей руды двумя «догоняющими» фронтами (в отличие от традиционной схемы очистной выемки расходящимися фронтами).

По результатам исследований предложены и учтены в проекте института «Гипроникель» рекомендации по обеспечению непрерывного деформационного мониторинга геомеханической ситуации и комплекса профилактических противоударных мероприятий.

Ключевые слова: удароопасные месторождения, шахтное поле, фронт очистных работ, разделительный целик, критерий запределного деформирования, прогнозные карты, мониторинг, противоударные мероприятия.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.09>

Рудопородный массив представляет собой сложную блочную структуру, образованную сетью крупных и мелких тектонических нарушений разрывного характера. Западный и восточный фланги шахты 1, западный фланг шахты 2 примыкают к крупным геологическим нарушениям I порядка (Горный Сброс и Большой Горст) с интенсивно развитой сетью опережающих мелких тектонических нарушений. В этих условиях геомеханическая обстановка в рудной залежи на флангах шахт определяется в основном характером и параметрами сдвига налегающего над рудным телом массива пород, подработанного горными работами — как соб-

* В работе принимал участие главный научный сотрудник Центра геомеханики и проблем горного производства НМСУ «Горный» В. В. Зубков.

ственными, так и непосредственно примыкающего рудника «Октябрьский». Одновременно геомеханическая ситуация в шахтных полях может быть осложнена подработкой системы протяженных блокообразующих разрывов приподнятой части Большого Горста и плоскости сместителя Горного Сброса. Ведение горных работ на глубинах от 1000 до 1700 м в таких сложных горно-геологических и горнотехнических условиях может вызвать изменение вектора, величин напряжений и деформаций в рудной залежи с формированием зон, опасных по проявлениям горного давления, тем более при разработке удароопасных месторождений [1].

До 2005 г. основными объектами добычи богатых руд на руднике «Таймырский» были очистные фронты в поле шахт 1 и 2, однако сокращение общей протяженности фронта работ по основной Хараелахской залежи потребовало вовлечения в разработку в 2005 г. северо-западного участка залежи С-2 для восполнения объемов добычи богатых руд, а в 2010 г. — запасов богатых руд залежи Х-1(О) в пределах Большого Горста. При этом в связи с доработкой запасов богатых руд на западных флангах шахт 1 и 2 в целях поддержания производственной мощности рудника в 2009 г. специалисты Центра геодинамической безопасности (ЦГБ) и Горно-геологического управления (ГГУ) рассматривали возможность создания дополнительного фронта очистных работ на участке залежи Х-1(О) горизонта –1400 м с разрезкой по ленте 339 (восточнее шахты 2) и последующим движением фронта

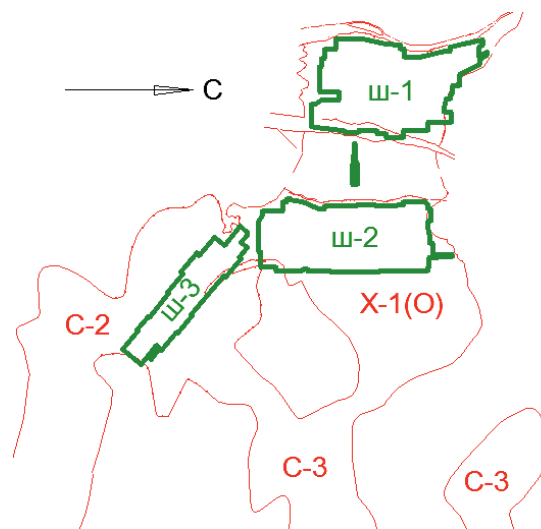


Рис. 1. Схема расположения рудных залежей и шахтных полей рудника «Таймырский»

работ на восток, продолжая при этом работы по существующему восточному фронту шахты 2 и надвигаясь на вновь формирующуюся разрезку (рис. 2). Дополнительная разрезка и новый фронт очистных работ на участке залежи Х-1(О) далее именуется как «шахта 4».

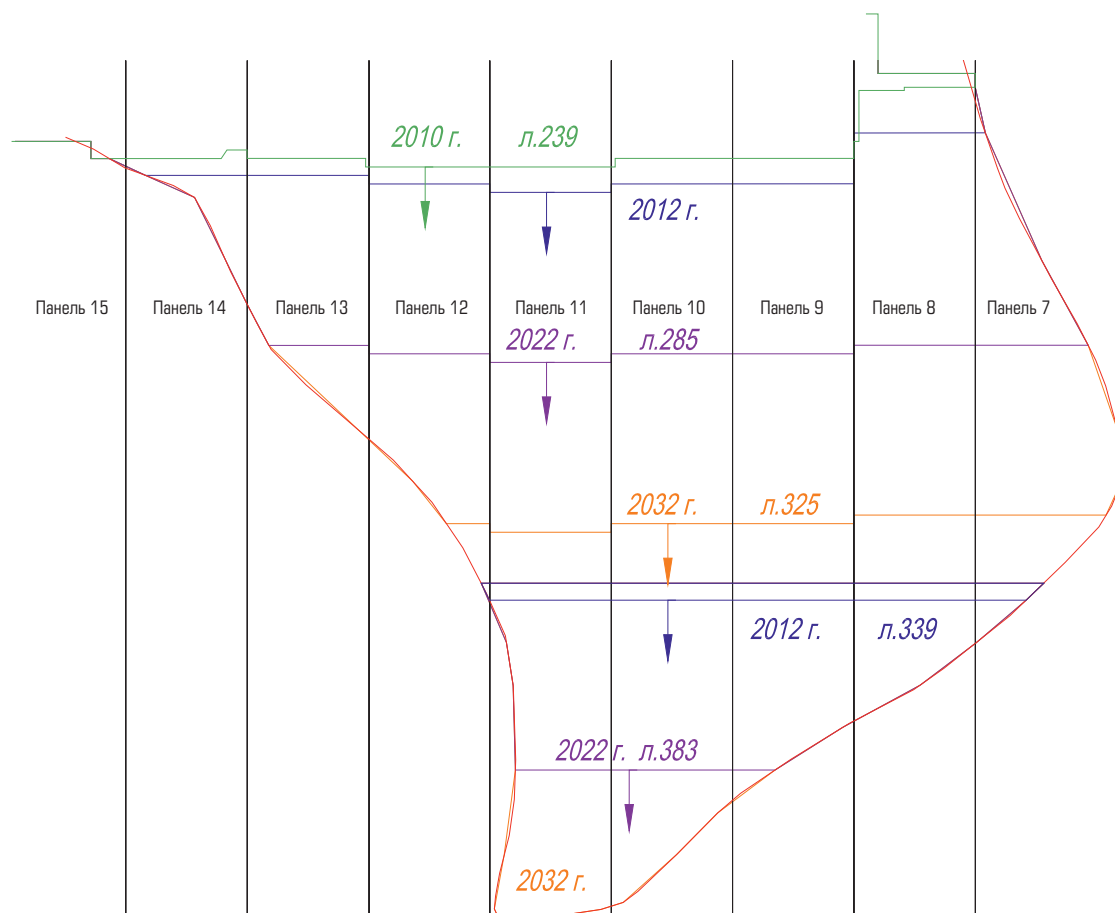


Рис. 2. Схема дополнительной разрезки и фронтов развития очистных работ на восточном фланге залежи Х-1(О)



Рис. 3. Прогнозная карта напряженного состояния разделительного массива на 2020 (а), 2025 (б) и 2035 (в) годы

Прогноз изменения геомеханической ситуации. В начальной стадии выемки запасов в поле шахты 4 — лента 339 — рудный целик между ней и фронтом очистных работ восточного фланга шахты 2 составляет 368 м, а расстояние между южным торцом шахты 4 и фронтом очистных работ северо-восточного фланга шахты 3 — более 650 м. Таким образом, на начальном этапе влияние горных работ шахт 2 и 3 на работу новой шахты 4 исключено. По мере продвижения восточного фронта очистных работ шахты 2 и развития восточного фронта по шахте 4 пролеты подработки будут возрастать, а рудный целик между ними — сокращаться. В таких условиях неизбежно увеличение нагрузок на опережающие подготовительные и разведочные выработки, расположенные в пределах сокращающегося междушахтного целика [2].

Анализ показал, что зона опорного давления от восточного фронта шахты 2 при достигнутых в настоящее время пролетах подработки будет смещаться без увеличения ширины. Абсолютные значения нормальных напряжений будут возрастать с увеличением глубины ведения горных работ [3]. Зона стационарного горного давления западнее ленты 339 по мере развития фронта очистных работ шахты 4 на восток будет увеличиваться в ширину с ростом нагрузки в зоне ее максимума. Очевидно, что на определенной стадии разработки в пределах узкого рудного целика произойдет наложение зоны опорного и стационарного давления. Опыт выемки разделительных массивов на руднике «Октябрьский» показывает, что при этом рудопородный массив переходит в режим запредельного деформирования, при котором происходит разрушение опорных элементов, в том числе в динамической форме.

Для оценки изменения напряженного состояния рудного массива при развитии горных работ при программе SUIT3D [4] проведено математическое моделирование геомеханической обстановки в пределах восточного фланга разработки залежи X-1(0) и построены прогнозные карты напряженного состояния разделительного массива после выемки богатых руд шахтой 2 и шахтой 4 в 2017–2035 гг. при условии начала очистных работ по шахте 4 в 2015 г. и продвижении фронтов по шахтам 2 и 4 по 16 м в год (рис. 3).

По результатам расчетов формирующийся разделительный массив попадает в зону повышенного горного давления (ПГД) уже в 2020 г.; фронт очистной выемки по шахте 2 находится в ленте 263. При этом концентрация напряжений в нем на этот момент достигает $1,28\gamma H$ (см. рис. 3, а). На последующих этапах ширина разделительного массива будет умень-

шаться, площадь выработанного пространства — увеличиваться и, следовательно, растет нагрузка на целик. Так, в 2025 г. фронт очистных работ в шахте 2 будет находиться в ленте 285; концентрация напряжений в нем достигнет 1,5γН (см. рис. 3, б). В 2030 г. фронт работ будет в ленте 305, напряжение достигнет 2γН. В 2035 г. фронт работ будет в ленте 325, а напряжение достигнет 3γН (см. рис. 3, в).

В соответствии с «Указаниями по безопасному ведению горных работ...» [2] определено критериальное по условию удароопасности значение коэффициента концентрации напряжений: $k = 0,7\sigma_{сж}/\gamma H$, где средняя прочность руды на одноосное сжатие $\sigma_{сж} = 90$ МПа; средняя глубина разработки разделительного массива $H = 1350$ м; объемный вес налегающих пород $\gamma = 2,5$ т/м³; $k = 1,9$. Таким образом, при достижении восточным фронтом шахты 2 ленты 305 вся площадь разделительного массива окажется под воздействием напряжений, способных реализоваться в динамической форме. При дальнейшем продвижении фронтов шахт 2 и 4 целик приобретет узкую вытянутую форму, а напряжения будут еще более нарастать. Прогнозный расчет на 2035 г. показывает, что уровень напряжений сравняется или даже превысит предел прочности на одноосное сжатие [5].

Рекомендации по разработке восточной части залежи X-1(О). Рассматриваемый вариант разработки восточного фланга залежи X-1(О) двумя догоняющими фронтами не приводит к геомеханическим осложнениям только в начальной стадии — до ленты 305, однако очистные работы в рудном целике шириной 128 м, разделяющем шахты 2 и 4, будут вестись во все более усложняющихся условиях с нарастанием напряжений по мере наложения зон опорного давления. Следует отметить, что исследуемая схема аналогична формированию и разработке разделительного массива 1 (РМ-1) рудника «Октябрьский», очистная выемка которого сопровождалась многочисленными динамическими проявлениями горного давления. При этом в РМ-1 разработку вели двумя встречными фронтами на глубине 800–850 м, в то время как разделительный массив шахт 2 и 4 формируется на глубине около 1400 м, т. е. в более сложных геомеханических условиях.

В связи с этим на всех этапах развития работ необходимо выполнение профилактических противоударных мероприятий [6, 7]. Для обеспечения безопасной эксплуатации подготовительных выработок, располагающихся в пределах формирующегося разделительного массива, следует предусматривать их крепление усиленными видами крепи, способными работать в условиях повышенных деформаций контура, а также устойчивыми к динамическим проявлениям горного давления. Для повышения безопасности и снижения риска аварийных ситуаций, связанных с внезапными обрушениями в ключевых транспортных выработках, целесообразно оснастить их системой непрерывного деформационного мониторинга.

Одной из таких систем является автоматизированная система контроля горного давления (АСКГД) производства ОАО «ВНИИМИ». Система разработана на базе индуктивных датчиков, позволяющих отслеживать деформационный процесс в непре-

рывном режиме, и включает два блока контроллера (БК485); станции регистрации деформаций, состоящие из блока сопряжения (БСДИ) и индуктивного датчика (ДИ7); конвертер интерфейсов (КИ) и компьютер оператора. В БСДИ расположен генератор, который вместе с индуктивностью датчика ДИ7 формирует на своем выходе частоту, зависящую от положения штока датчика. Эта частота измеряется в БСДИ и преобразуется в величину смещения. БК485 выполняет периодический опрос подключенной к нему группы БСДИ и передает данные в компьютер оператора системы. Программа мониторинга горного давления записывает результаты измерения в базу данных, программа обработки которых позволяет в табличном или графическом виде просматривать или распечатывать накопленные и обработанные данные за запрошенный период наблюдения. Система может работать в режиме непрерывной регистрации, тестирования, программирования параметров и микроконтроллера.

Реализация результатов исследований. В 2012 г. в ООО «Институт Гипроникель» разработана проектная документация «Рудник «Таймырский». Реконструкция. Вскрытие горизонта –1400 м и залежи X-1(О). Вскрытие горизонта –1300 м и части залежи С-2 (восполнение выбывающих мощностей). Корректировка». В проекте рассмотрен весь комплекс проблем и выполнены соответствующие расчеты, подтверждающие возможность безопасной разработки этого участка:

- определены порядок и системы разработки;
- сформированы мероприятия по профилактике и предупреждению горных ударов;
- определен тип и выполнен расчет необходимого количества самоходного оборудования;
- выполнен расчет количества воздуха, необходимого для проветривания участка;
- разработан календарный план добычи;
- выполнен расчет объемов закладочных смесей и определен их состав;
- определена и принята оптимальная схема транспортирования руды;
- определены основные технико-экономические показатели проекта.

Календарным планом горных работ предусмотрен поэтапный ввод мощностей с достижением в III году с начала работ максимальной производительности — 300 тыс. т руды в год. В настоящее время на руднике «Таймырский» осуществляют подготовку участка к добыче: проходку разведочных и подготовительных выработок; бурение разведочных скважин с целью уточнения контура рудного тела и состава руды; бурение разгрузочных скважин большого диаметра для формирования защищенных зон, в пределах которых будут проводить очистные работы. До настоящего времени разработку залежей, входящих в поле рудника «Таймырский», осуществляли только расходящимися фронтами. Опыт ведения горных работ догоняющими фронтами отсутствует. Поэтому горные работы на данном участке шахтного поля будут сопровождаться специализированной научной организацией.

Библиографический список

1. *Казикаев Д. М.* Геомеханика подземной разработки руд : учебник для вузов. — М. : МГГУ, 2005. — 542 с.
2. *Родионов В. Н., Сизов И. А., Цветков В. М.* Основы геомеханики. — М. : Недра, 1986. — 301 с.
3. *Зерцалов М. Г.* Механика скальных грунтов и скальных массивов : учебник. — М. : Юриспруденция, 2003. — 184 с.
4. *Зубков В. В., Зубкова И. А.* Программа расчета напряженного состояния горных пород около очистных выработок произвольной формы в плане (SUIT3D) / РосАПО; свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 960012 от 10.01.1996.
5. *Борщ-Компониц В. И., Макаров А. Б.* Горное давление при отработке мощных пологих рудных залежей. — М. : Недра, 1986. — 271 с.
6. *Казикаев Д. М.* Комбинированная разработка рудных месторождений: учебник для вузов. — М. : Горная книга, 2008. — 360 с.
7. *Голик В. И., Исмаилов Т. Т.* Управление состоянием массива : учебник для вузов. — М. : Горная книга, 2008. — 374 с.

Анохин Александр Геннадьевич,

тел.: +7 (3919) 45-21-57

Базин Алексей Анатольевич,

тел.: +7 (3919) 24-76-96

Андреев Александр Александрович,

Крузин Сергей Дмитриевич:

тел.: +7 (812) 327-21-22

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 6, pp. 46–50

Title	Geomechanical estimate of additional cutting of X-1(O) ore body in the east of Taimyrsky Mine-2
DOI	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.09
Author 1	Name & Surname: Anokhin A. G.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Director, Center for Geodynamic Safety
	Scientific Degree: Candidate of Engineering Sciences
	Contacts: phone: +7 (3919) 45-21-57
Author 2	Name & Surname: Bazin A. A.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Leading Expert, Center for Geodynamic Safety
Author 3	Name & Surname: Andreev A. A.
	Company: VNIMI (Saint-Petersburg, Russia)
	Work Position: Head of Norilsk Sector of Metalliferous and Nonmetalliferous Deposit Geomechanics Laboratory
Author 4	Name & Surname: Kruzin S. D.
	Company: VNIMI (Saint-Petersburg)
	Work Position: Leading Specialist of Metalliferous and Nonmetalliferous Deposit Geomechanics Laboratory
Abstract	The participation of V. V. Zubkov, chief scientific officer of Center for Geodynamic Safety and problems of the mining industry of NMSU “Mountain”.
	In order to replenish depleted reserves and increase output of rich copper–nickel ore, the research has been undertaken toward estimating feasibility of additional stoping in the X-1 (O) ore body area in Taimyrsky Mine with ore cutting by two fronts that go one after the other instead of the traditional stoping with two fronts advanced in opposite directions.
	In the complicated deep-level ground and mine-technical conditions of the Norilsk area deposits experiencing high rockburst hazard, the geomechanical estimation and forecasting of stress–strain state behavior of the ore body in time have been implemented for stoping with two successive fronts. The mathematical modeling yields the rates of stress growth with narrowing of the separation pillar between the stoping fronts; the stress–strain state forecasting maps are plotted for the period up to 2035, and the criteria of the ore body transition to post-limit deformation with support failure, including dynamic events, are determined.
	The research-based recommendations on continuous geomechanical monitoring and a set of rockbursting countermeasures have been included in the related project developed by GiproNickel Institute, in particular: enforced support of stopes within the separation pillar, advanced destressing drilling of increased diameter holes, etc.
Keywords	Rockburst-hazardous deposits, mine field, stoping front, separation pillar, post-limit deformation criterion, forecasting maps, monitoring, rockbursting countermeasures.
References	1. Kazikaev D. M. <i>Geomekhanika podzemnoy razrabotki rud : uchebnik dlya vuzov</i> (Geomechanics of underground ore mining : tutorial for universities). Moscow : Moscow State Mining University, 2005. 542 p.
	2. Rodionov V. N., Sizov I. A., Tsvetkov V. M. <i>Osnovy geomekhaniki</i> (Basis of geomechanics). Moscow : Nedra, 1986. 301 p.
	3. Zertsalov M. G. <i>Mekhanika skalnykh gruntov i skalnykh massivov : uchebnik</i> (Mechanics of rocks and rock massifs : tutorial). Moscow : Yurisprudentsiya, 2003. 184 p.
	4. Zubkov V. V., Zubkova I. A. <i>Programma rascheta napryazhennogo sostoyaniya gornyykh porod okolo ochistnykh vyrobotok proizvolnoy formy v plane (SUIT3D)</i> (Program for calculation of stressed state of rocks near free-form stopes in the plan (SUIT3D)). Russian Agency for Legal Framework. Certificate about the Official Registration of Software No. 960012 on January 10, 1996.
	5. Borshch-Komponiets V. I., Makarov A. B. <i>Gornoe davlenie pri otrabotke moshchnyykh pologikh rudnykh zalezhey</i> (Rock pressure during mining of thick flat ore deposits). Moscow : Nedra, 1986. 271 p.
	6. Kazikaev D. M. <i>Kombinirovannaya razrabotka rudnykh mestorozhdeniy: uchebnik dlya vuzov</i> (Combined mining of ore deposits: tutorial for universities). Moscow : Gornaya kniga, 2008. 360 p.
	7. Golik V. I., Ismailov T. T. <i>Upravlenie sostoyaniem massiva : uchebnik dlya vuzov</i> (Management of massif state : tutorial for universities). Moscow : Gornaya kniga, 2008. 374 p.