

УДК 622.831.32

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ЦЕЛИКА ПРИ ЕГО ПОДРАБОТКЕ

**В. Д. Барышников, Д. В. Барышников, Л. Н. Гахова**

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук  
Красный проспект, 54, г. Новосибирск, 630091, Россия. E-mail: vbarl@misd.nsc.ru; gahoval@mail.ru

По результатам численного моделирования выполнена прогнозная оценка напряженно-деформированного состояния предохранительного целика под водоносным комплексом при подземной разработке запасов рудника «Интернациональный» АК «АЛРОСА». Предложена комплексная система наблюдений за сдвижением вмещающих пород и закладочного массива, формируемого при слоевой нисходящей системе разработки запасов ниже границы целика. Получена экспериментальная оценка осадки закладки разрезного слоя при его подработке. Численная оценка сдвижений массива в окрестности обрабатываемых запасов позволяет осуществлять контроль при проведении наблюдений за нижележащими запасами с использованием метода инклинометрии, основанного на определении изменения профиля скважины посредством измерения углов наклона обсадной трубы через заданные интервалы вдоль всей длины контролируемой скважины.

**Ключевые слова:** водоносный комплекс, предохранительный целик, напряженно-деформированное состояние, осадка, инклинометр.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧНА ОЦІНКА СТАНУ ЗАПОБІЖНОГО ЦЕЛІКА ПІД ЧАС ЙОГО ПІДРОБКИ

**В. Д. Барышников, Д. В. Барышников, Л. М. Гахова**

Институт гірничої справи ім. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук  
Червоный проспект, 54, м. Новосибирськ, 630091, Росія. E-mail: vbarl@misd.nsc.ru; gahoval@mail.ru

За результатами чисельного моделювання виконана прогнозна оцінка напружено-деформованого стану запобіжного цілика під водоносним комплексом при підземній розробці запасів копалин «Інтернаціональний» АК «АЛРОСА». Запропонована комплексна система спостережень за сдвиженням вмещаючих порід і закладочного масиву, що формується при шаровій нисходній системі розробки запасів нижче межі цілика. Отримана експериментальна оцінка осадки закладки розрізного шару при його підробці. Чисельна оцінка сдвижень масиву навколо запасів, що відпрацьовуються, дозволяє здійснювати контроль при проведенні спостережень за нижче лежачими запасами із застосуванням методу інклинометрії, що базується на визначенні змін профілю свердловини шляхом вимірювання кутів нахилу обсадної труби через задані інтервали вздовж усієї довжини свердловини, що контролюється.

**Ключові слова:** водоносний комплекс, запобіжний цілік, напружено-деформований стан, осадка, інклінометр.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Для защиты подземных горных выработок от прорыва воды из несдренированного метегеро-ичерского водоносного комплекса (МИВК) (отм. +70 м ÷ -130 м) при отработке подкарьерных запасов рудника «Интернациональный» АК «АЛРОСА» предусмотрено оставление рудного предохранительного целика (рис. 1) [1–3]. Первоначально граница безопасной глубины ведения очистных работ располагалась на отм. -190 м. В настоящее время обоснован перенос границы безопасного ведения очистных работ с отм. -190 м на отм. -150 м с последующей отработкой запасов нижней части блока № 4, расположенной под этой границей. Вследствие мер по водоотведению подошва водосливного комплекса (подошва МИВК) достигла отметки -97 м.

Цель данной работы – комплексная оценка изменения геомеханических ситуации рудного предохранительного целика, обеспечивающего безопасные условия отработки блока № 4 под МИВК.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Проведены численные расчеты по оценке ожидаемых изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) в зоне влияния очистных работ при выемке запасов слоев 8–9 блока № 4. Расчеты вы-

полнялись на основе решения плоской задачи теории упругости методом граничных интегральных уравнений с учетом влияния на НДС отработанного и заложеного нижележащего блока № 5.

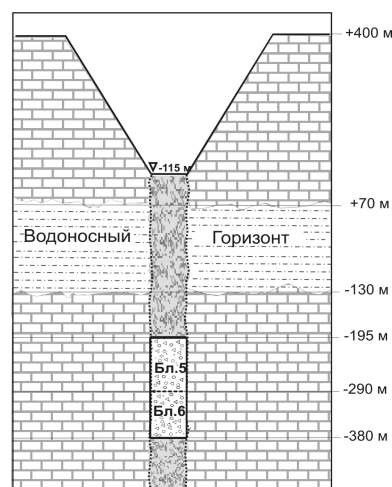


Рисунок 1 – Вертикальное сечение рудного тела

Параметры естественного поля напряжений приняты следующие:  $\sigma_z^0 = -\gamma H$ ,  $\sigma_x^0 = \sigma_y^0 = -\lambda\gamma H$ , где  $\sigma_z^0$  –

вертикальна,  $\sigma_x^0$ ,  $\sigma_y^0$  – горизонтальные компоненты напряжений,  $\gamma$  – объемный вес пород, Н – глубина разработки,  $\lambda$  – коэффициент бокового распора; из-за преобладания галита в составе вмещающих пород принято  $\lambda=1,0$ . Модуль упругости  $E = 10$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,25$ , угол внутреннего трения  $\varphi=30^\circ$ , сцепление  $C=1$  МПа. В нетронутом массиве на отметках нижней части блока № 4  $\sigma_z^0=\sigma_y^0=\sigma_x^0=-14$  МПа. Предельная величина сдвигающих напряжений рудного массива, превышение которой приводит к

неупругому деформированию пород, для условий опытно-промышленного блока (блок № 6) рудника «Интернациональный» принята  $\sigma_{сд}^к=4$  МПа [3].

Отработка слоев 9 и 8 приводит к формированию потолочины, НДС которой отражено на рис. 2. Градиент горизонтальных напряжений в нижней части блока № 4 с понижением горных работ достигает  $(-29)\div(-18)$  МПа. При этом потолочина остается разгруженной от вертикальных напряжений.

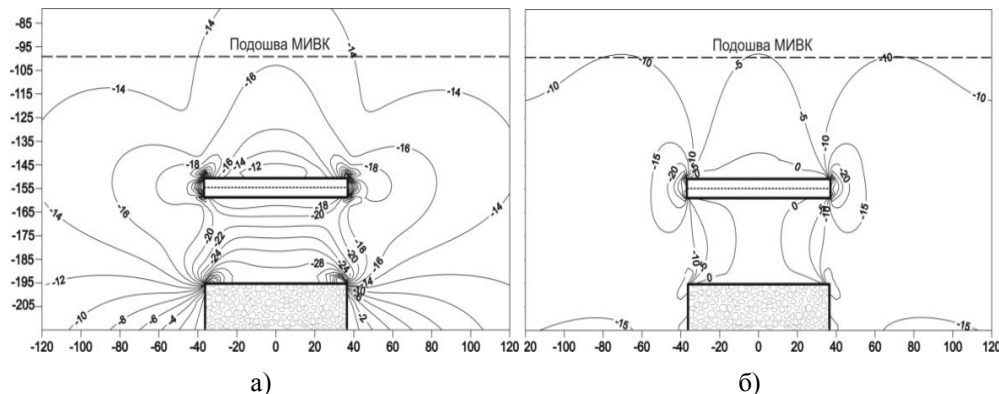


Рисунок 2 – Горизонтальные (а) и вертикальные (б) напряжения (МПа) массива под МИВК после отработки слоев 9→8 (в, г) блока № 4

Зона неупругого деформирования, формируемая в кровле блока № 4, удалена вглубь массива на глубину до 20 м (рис. 3). После отработки слоев 9 и 8 область неупругого деформирования занимает

большую часть потолочины (рис. 3,б,в). Верхняя граница зоны запредельного деформирования в кровле слоев 9→8 достигает отм.-125 м, что на 28 м ниже отметки подошвы МИВК (-97м).

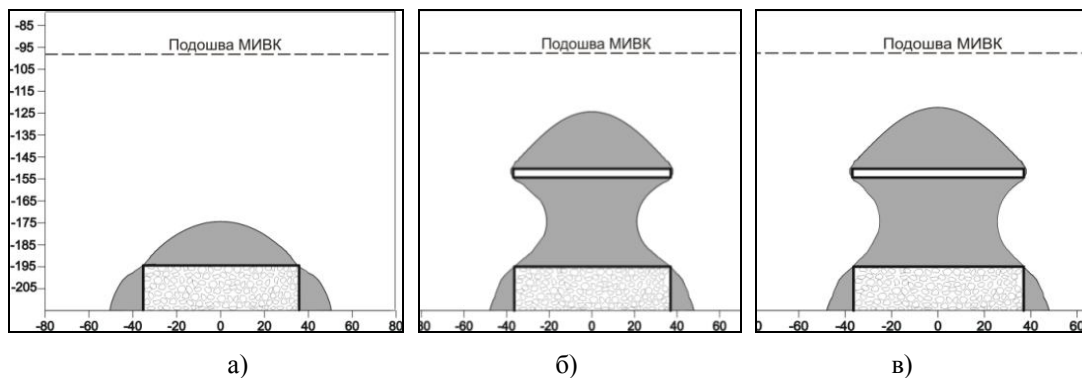


Рисунок 3 – Зоны неупругих деформаций массива в кровле отработанного блока № 5: а – после доработки и закладки блока № 5; б – после отработки разрезного слоя 9 блока 4; в – после отработки слоев 9→8 блока № 4

Установлено, что максимальные упругие смещения в горизонтальном направлении в кровле слоя 9 относительно оси трубки наблюдаются на фланге и не превосходят 20 мм. На рис. 4 представлены графики оседаний кровли слоя 9 на различных этапах выемки запасов блока № 4. Максимальное упругое оседание кровли слоя 9 произойдет при его отработке и достигает -66 мм. Понижение горных работ приводит к приращению оседаний кровли слоя 9. После полной доработки слоев до блока № 5 оседание кровли достигнет -75 мм.

Численная оценка сдвижений массива в окрестности обрабатываемых запасов позволила для про-

ведения наблюдений предложить следующие методы [4–6]:

- контроль осадки кровли закладочного орта, пройденного во вмещающих породах, осуществляется по станциям контурных реперов (СКР);

- контроль вертикальных сдвижений закладочного массива разрезного слоя по мере отработки нижележащих запасов осуществляется с использованием метода отработки нижележащих запасов осуществляется с использованием метода инклинометрии, основанного на определении изменения профиля скважины посредством измерения углов

наклона обсадной трубы через заданные интервалы вдоль всей длины контролируемой скважины;

– контроль горизонтальных сдвижений закладочного массива осуществляется по станциям глубинных реперов (СГР);

– скважинные визуальные наблюдения (СВН) позволяют определить местоположение зон возможного запредельного деформирования (участка локализации деформаций) закладочного массива в процессе развития очистных работ, что в комплексе с инструментальными наблюдениями обеспечивает оценку предельных деформаций.

В центральной ленте (лента 7) в отработанном и заложеном разрезном слое 9 была оборудованы комплексная замерная станция перед отработкой слоя 8 (рис. 5), включающая СГР, СВН и инклинометрические станции (СИН).

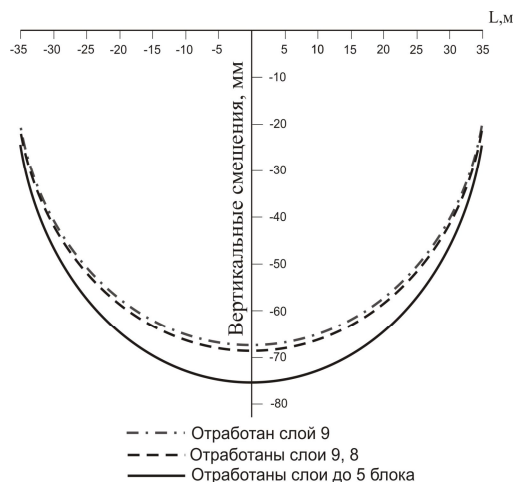


Рисунок 4 – Оседание кровли слоя 9 при отработке слоев 9→8 и полной доработке нижней части блока № 4

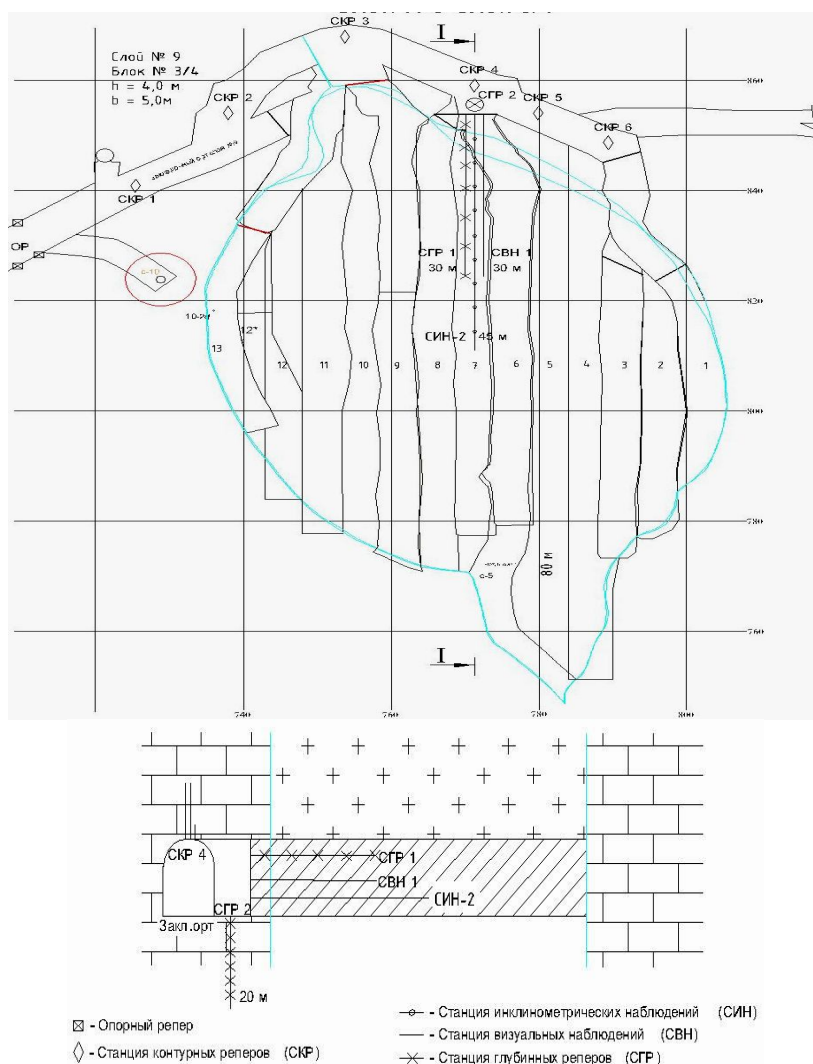


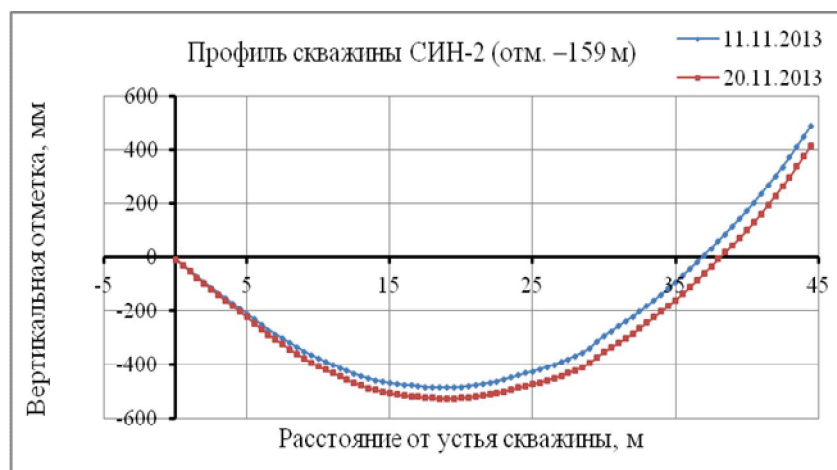
Рисунок 5 – Схема размещения наблюдательных станций на гор. -159 м

Измерение начальных значений по СКР и определение высотной отметки устья инклинометрической скважины выполняется путем нивелирования с

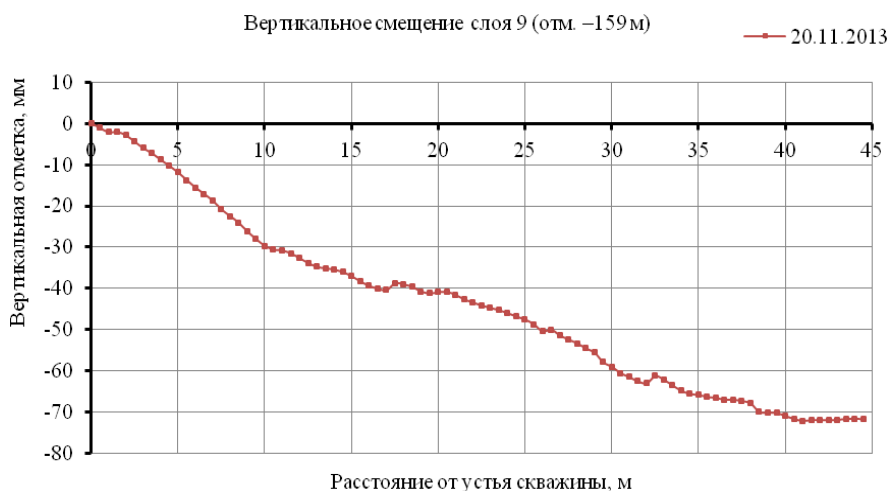
передачей высотных отметок от опорного репера, расположенного за зоной влияния очистного пространства (рис. 6). Изменения начальных значений

по СГР виконуються з допомогою розробаного ИГД СО РАН глибиномера. Определение исходного профиля инклинометрической скважины осуществляется по усредненным значениям углов наклона обсадной трубы после четырех циклов измерений в направлениях «прямо» и «обратно». Перед отработкой слоя 8 проведен визуальный осмотр околоскважинного пространства с видеорегистрацией состояния контура, при этом нарушения в закладочном массиве не обнаружено.

После подработки разрезного слоя нижележащим слоем 8 был произведен цикл наблюдений. Замера по СГР и СКР не показали существенных изменений. По данным инклинометрических измерений было установлено изменение профиля скважины (рис. 6,а), а также определены вертикальные сдвигения закладочного массива по глубине скважины, вызванные отработкой одного нижележащего слоя (рис. 6,б). Максимальные сдвигения отмечены в центральной части трубки (40–45 м от устья скважины); их величина составила 70–73 мм.



а



б

Рисунок 7 – Результати інклинометричних спостережень: а – профіль вимірної скважини: до підроботки (11.11.2013 г.), після обробки нижележащого шару (20.11.2013 г.); б – вертикальні зміщення шару закладки

**ВЫВОДЫ.** Комплексная оценка геомеханической ситуации в предохранительном целике при доработке запасов блока № 4 позволила отметить следующее:

1. После отработки слоев 9 и 8 область неупругого деформирования занимает большую часть потолочины нижележащей толщи рудного массива. Верхняя граница зоны запредельного неупругого деформирования в кровле слоя 9 (без учета её развития во времени) достигает отм. -125 м,

что на 28 м ниже отметки подошвы водосливного комплекса (-97 м).

2. Максимальное упругое оседание кровли блока № 4 в слое 9 при доработке запасов до блока № 5 увеличится до 75 мм. Фактические смещения в горизонтальном и вертикальном направлениях будут превышать указанные значения из-за наличия зоны неупругого состояния рудного массива в кровле слоя 9.

3. Предложенная системы наблюдений позволяет при отработке нижележащих слоев контролировать процесс сдвижений закладочного массива в основании предохранительного целика, определять величины критических деформаций закладки, вызывающих нарушение её сплошности, а также местоположение зон локализации запредельных деформаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барышников В.Д., Барышников Д.В. Геомеханический контроль предохранительного целика под водоносным горизонтом // Proceedings of the V<sup>th</sup> International Geomechanics Conference 18–21 June 2012. – Publ.: International House of Scientists «Fr.J.Curie», Varna, Bulgaria. – PP. 329–324.
2. Барышников В.Д., Барышников Д.В. Мониторинг сдвижения закладочного массива при слоевой нисходящей системе разработки // Материалы VI междунар. конф. «Проблемы и пути инновационного развития горнодобывающей промышленности», Алматы, Казахстан, 2013. – С. 137–142.

3. Курленя М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: СО РАН, 2012. – № 4. – С. 20–28.

4. Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Прогнозная оценка напряженно-деформированного состояния предохранительного целика под водоносным горизонтом // Труды X междунар. научного конф. «ГЕО-Сибирь–2014», т. 2. – Новосибирск: СГГА, 2014. – С. 42–47.

5. Барышников В.Д., Барышников Д.В. Организация и проведение наблюдений за сдвижением закладочного массива при его подработке // ГИАБ. – 2008. – № 12. – С. 256–261.

6. Барышников В.Д., Барышников Д.В. Определение сдвижений закладочного массива разрезного слоя после его подработки // Труды X междунар. научного конф. «ГЕО-Сибирь–2014», т. 2. – Новосибирск: СГГА, 2014. – С. 247–251.

## EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL ESTIMATION OF PROTECTIVE PILLAR WHILE ITS PRELIMINARY ROBBING

V. Baryshnikov, D. Baryshnikov, L. Gakhova

Chinakal Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Krasnyi prospekt 54, Novosibirsk, 630091, Russia. E-mail: vbarl@misd.nsc.ru; gahoval@mail.ru

Based on the results of numerical simulation, a forecast was made for stress-strain state of a protective pillar under the aquifer system during the reserves mining at the “Internatsionalnyi” mining plant of the ALROSA, OJSC. We have offered a comprehensive monitoring system for movement of host rocks and the filling mass forming during the slicing downward method of reserves mining below the pillar margin. The experimental assessment of backfilling subsidence of the opening layer during its undermining was obtained. Quantitative estimation of the mass movements in the vicinity of reserves mining allows for control during the underlying reserves monitoring using the directional survey method, which implies determination of changes in the borehole profile via the casing inclination measurements, spaced along the whole borehole.

**Key words:** aquifer system, protective pillar, stress-strain state, subsidence, inclinometer.

## REFERENCES

1. Baryshnikov, V.D., Baryshnikov, D.V. (2012), “Geomechanical control of safety pillar under the aquifer”, *Proceedings of the V<sup>th</sup> International Geomechanics Conference*, International House of Scientists «Fr.J.Curie», Varna, Bulgaria, 18–21 June, 2012, pp. 329–324.
2. Baryshnikov, V.D., Baryshnikov, D.V. (2013), “Monitoring of filling mass movement during the slicing downward mining technique”, *Materials of VI Int. Conf. “Problems and innovation development in mining industry”*, Almaty, Kazakhstan, pp. 137–142.
3. Kurlenya, M.V., Baryshnikov, V.D., Gakhova, L.N. (2012), “Development of the experimental and analytical method of mining workings strength estimation”, *Journal of Mining Science*, no. 4, pp. 20–28.

4. Baryshnikov, V.D., Gakhova, L.N. (2014), “Predictive assessment of stress-strain state of a safety pillar under the aquifer”, *Materials of X Int. Sci. Conf. “GEO-Siberia–2014”*, vol. 2, Siberian State Geodesy Academy, Novosibirsk, pp. 42–47.

5. Baryshnikov, V.D., Baryshnikov, D.V. (2008), “Organization and works on observation of filling mass movement during its undermining”, *Mining Informational and Analytical Bulletin*, no.12, pp. 256–261.

6. Baryshnikov, V.D., Baryshnikov, D.V. (2014), “Evaluation of the movement of filling mass of the opening layer during its undermining”, *Materials of X Int. Sci. Conf. “GEO-Siberia–2014”*, vol. 2, Siberian State Geodesy Academy, Novosibirsk, pp. 247–251.

Стаття надійшла 07.07.2014.