

УДК 550.343:622.27:622.364.1

С. А. ЖУКОВА, А. В. САМСОНОВ (Центр геофизического мониторинга АО «Апатит»)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ХИБИНСКОГО МАССИВА



С. А. ЖУКОВА,
ведущий инженер-геофизик



А. В. САМСОНОВ,
инженер-геофизик
I категории

Месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского массива Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Кукисвумчоррское и Юкспорское являются основой сырьевой базы АО «Апатит» на протяжении всей истории становления и развития предприятия. Многолетние техногенные воздействия горных работ и подработка ими значительных площадей и объемов природных массивов, в том числе тектонических нарушений, обусловили существенные потери устойчивости Хибинского массива в целом.

За период с начала регистрации сейсмических событий в районе производственной деятельности АО «Апатит» установлена нестабильность сейсмического режима, связанная с наличием техногенных и природных возмущающих факторов. Одним из них является повышенная обводненность массива горных пород в периоды интенсивных дождей и обильного снеготаяния. В связи с этим актуальной научно-практической задачей является изучение связи таких природных факторов, как температура, осадки, обводненность, с сейсмическим откликом на них массива горных пород.

По сложности гидрогеологических условий, а также с учетом открытого и подземного способов разработки месторождений с образованием крупных выработанных пространств и зон обрушений, являющихся водосборами атмосферных вод, апатитовые месторождения и рудники, находящиеся в зоне сейсмоконтроля, разделяют на две группы:

- с относительно простыми гидрогеологическими условиями, которые обводняются до глубины 550–600 м, в основном атмосферными водами; к ним относятся месторождения Юкспорское

Приведены исследования связей сейсмической активности в районе многолетней открытой и подземной разработки Хибинских месторождений апатит-нефелиновых руд с интенсивной сезонной обводненностью и влагонасыщением подработанных массивов горных пород и выработанных пространств. По результатам исследований установлены критериальные параметры водопритоков, предшествующих опасной активизации техногенных сейсмических событий, и на этой основе разработаны и освоены методика и технико-технологический комплекс прогнозирования динамики сейсмической активности в зависимости от метео- и гидрогеологических условий. Показаны реальные примеры прогнозирования с использованием алгоритма и автоматизированной системы программирования *Seasonal Seismic Activity Identification System (AS SSAIS)*.

Ключевые слова: карьеры, подземные рудники, подработанные массивы, выработанные пространства, атмосферные осадки, сезонные водопритоки, обводненность и влагонасыщение, рост сейсмической активности, методика прогнозирования, программный комплекс.

(Кировский рудник, Юкспорское крыло) и Плато Расвумчорр (с карьером Центрального рудника);

- со сложными гидрогеологическими условиями — Кукисвумчоррское (Кировский рудник, Кукисвумчоррское крыло) и Апатитовый Цирк (Расвумчоррский подземный рудник); притоки в горные выработки этих подземных рудников формируются атмосферными водами, свободно проникающими из зон обрушения; трещинными водами кристаллических пород; водами ледниковых отложений, поступающими со стороны примыкающих долин рек и ручьев [1].

Ниже представлены методика комплексной оценки данных метео- и гидромониторинга, позволяющая выявлять причины и периоды активизации сейсмической активности на рудниках АО «Апатит», и результаты проведенного ретроспективного анализа данных на примере выявления периодов изменения сейсмичности на месторождениях Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр.

Расвумчоррский и Центральный рудники разрабатывают единую апатит-нефелиновую залежь, разделенную на два месторождения — Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр. Контроль

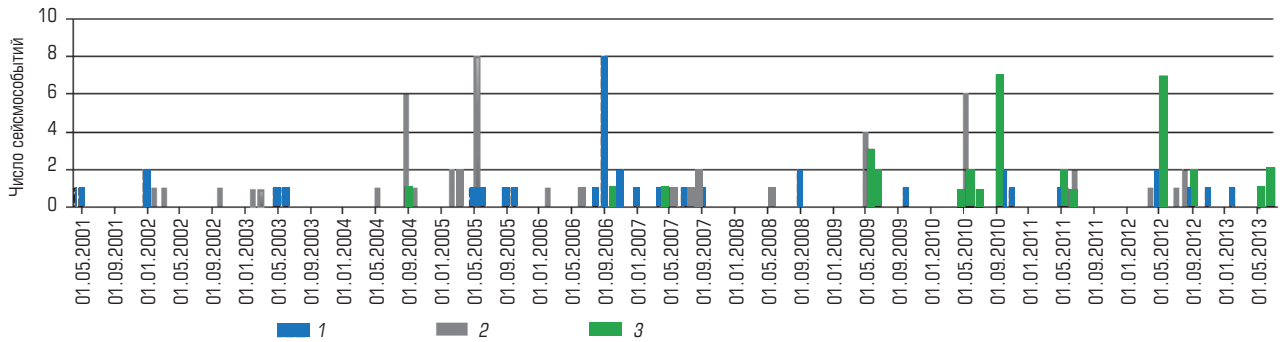


Рис. 1. Временные ряды распределения сейсмических событий с энергией $E \geq 1E + 07$ Дж на Кировском (1), Расвумчоррском (2) и Центральном (3) рудниках

Суммарные значения водопритоков ($m^3/ч$) по данным гидромониторинга в весенний и осенний периоды

Год	Весенний период			Осенний период		
	Р/С № 4	Р/С № 5	Р/С № 6	Р/С № 4	Р/С № 5	Р/С № 6
2004	266	358	63	108	139	34
2005	147	331	85	172	302	75
2006	308	322	121	113	127	35
2007	230	310	320	119	125	51
2008	155	155	172	158	120	84
2009	73	89	36	95	89	78
2010	61	61	64	107	169	76
2011	48	74	29	—	—	—
2013	86	146	54	88	154	35

Примечание. Водопритоки в 2012 г. исключены из анализа в связи с реконструкцией АСКМС-Р и приостановкой на это время регистрации сейсмических событий.

геодинамического режима в этом районе обеспечивается сейсмическим методом с ноября 2001 г. Автоматизированная система контроля состояния массива (АСКМС) способна регистрировать сейсмические явления с энергией в диапазоне $(1E + 02)$ — $(1E + 09)$ Дж и точностью определения координат гипоцентра до нескольких метров.

Мониторинг подземных вод на месторождении Апатитовый Цирк осуществляется в пределах горного отвода Расвумчоррского рудника. Питание водоносных комплексов происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков; режим подземных вод тесно связан с климатическими факторами. Наличие разномасштабной трещиноватости обуславливает насыщение жидкостью горных пород, в зависимости от пористости и влагопроницаемости которых сейсмическая реакция массива может быть различной. Максимальные значения по числу сейсмических событий с энергией $E \geq 1E + 07$ Дж относятся к периоду с сентября по октябрь и с апреля по июнь, т.е. прослеживается сезонная принадлежность активизации сейсмичности (рис. 1). При этом сильные

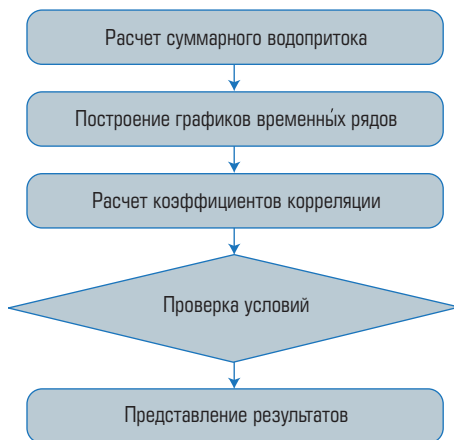


Рис. 2. Блок-схема (алгоритм) методики комплексной оценки данных метео- и гидромониторинга и прогнозирования периодов сейсмической активности на рудниках АО «Апатит»



Рис. 3. Структура программного обеспечения Seasonal Seismic Activity Identification System (AS SSAIS) для автоматизированной обработки данных, анализа и прогноза сейсмической активности

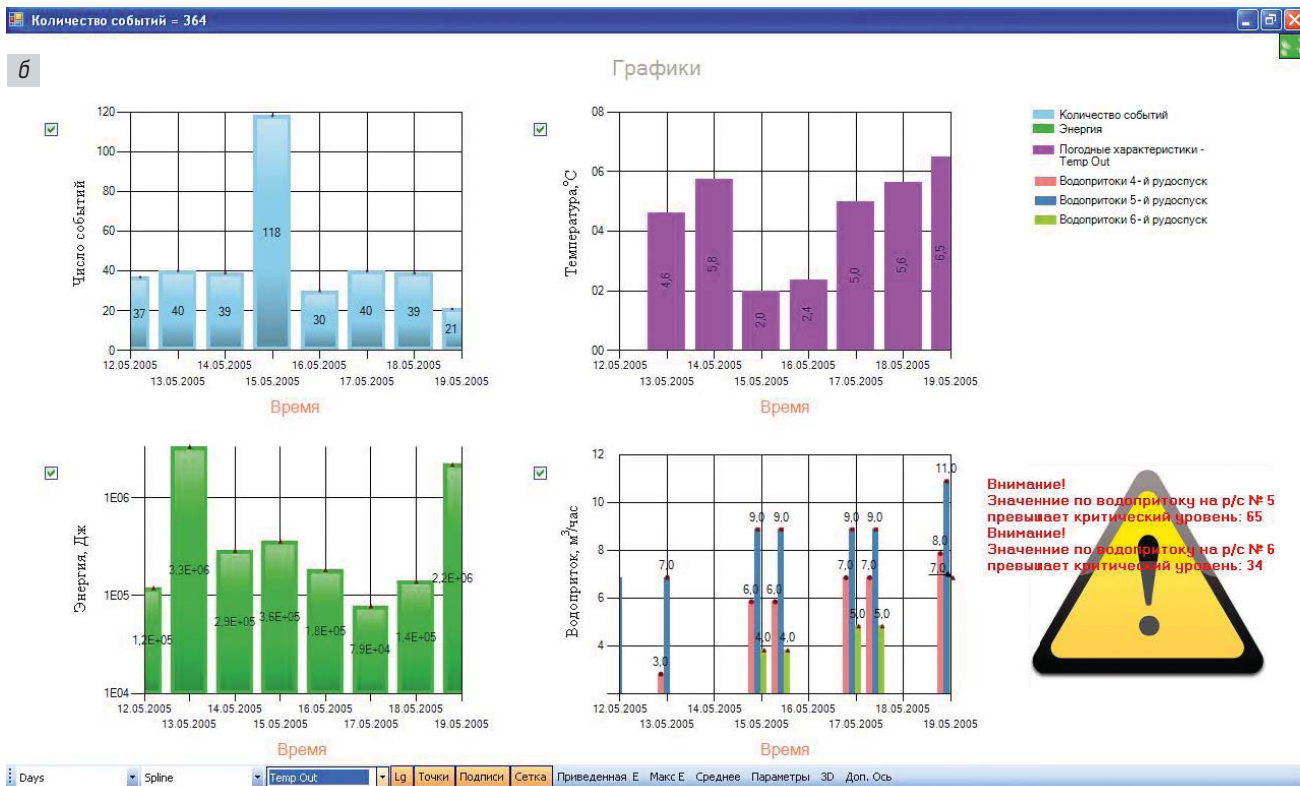
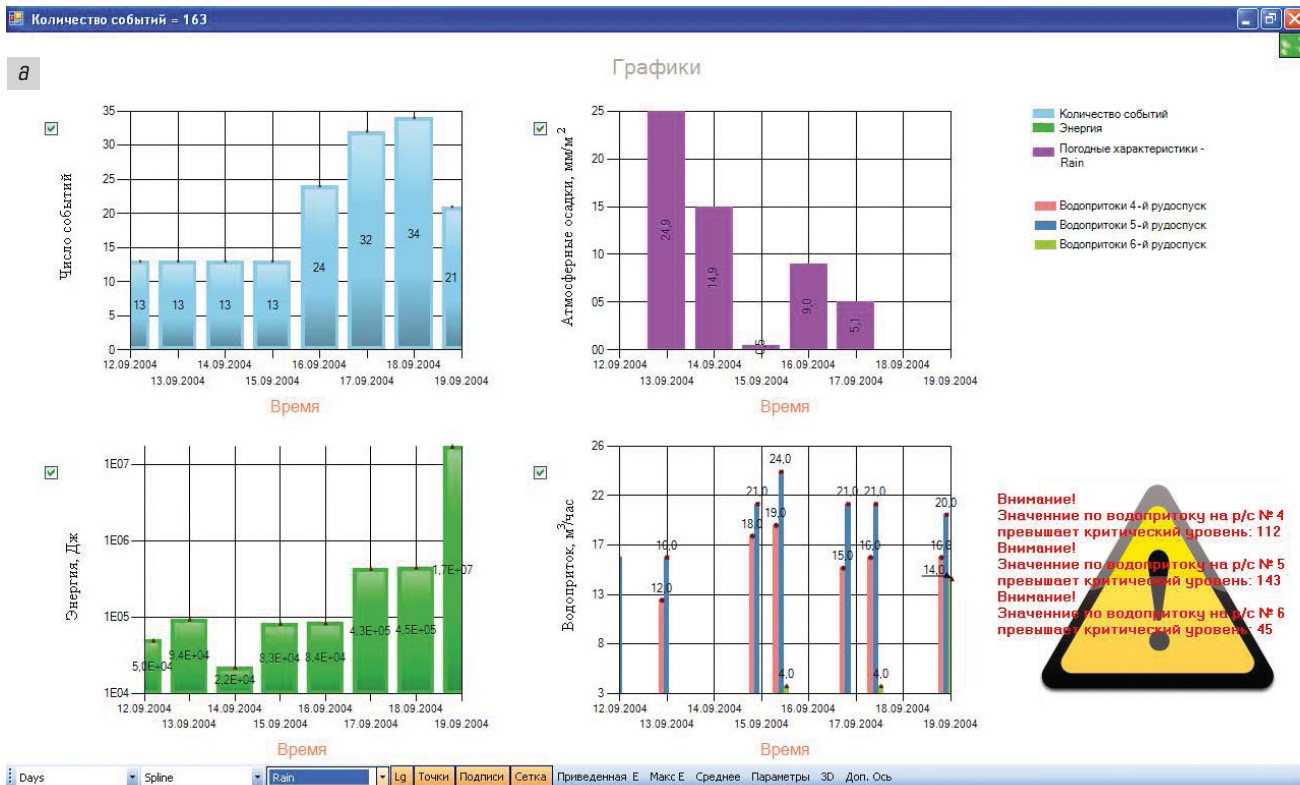


Рис. 4. Примеры комплексного анализа данных метео- и гидромониторинга и прогнозирования опасных сейсмособытий в формате AS SSAIS на месторождении Плато Расвумчорр в периоды «предыстории» осенью 2004 г. (а) и весной 2005 г. (б)

сейсмические события с энергией $1E + 07$ Дж и более могут приводить к катастрофическим последствиям: крупным осыпаниям породы с уступов и бортов карьера; обрушениям кровли выработок в подземных рудниках; разрушениям рудоспусков и т. д. Статистически установлено, что наибольшее число случаев проявления горного давления в виде толчков и техногенных землетрясений происходит в периоды наибольшей обводненности массива [2–5].

На Расвумчоррском руднике, по данным сейсмического мониторинга за десятилетний период, выявлено, что весной и осенью за неделю перед возникновением сильного события ($E > 1E + 07$ Дж) увеличивается число событий с энергетическим диапазоном ($1E + 04$) — ($1E + 06$) Дж, и это связано с приближением водонасыщения пород массива к критическому значению обводненности, при котором в напряженном участке массива реализуется сильное сейсмическое событие. Этот временной интервал назван в исследованиях «предысторией» как предвестник критического водонасыщения массива (см. **таблицу**). Из суммарных показателей водопритоков за периоды «предыстории» минимальные значения водопритоков для каждого контрольного рудоспуска (р/с) приняты как пороговые, которые указывают на повышенную обводненность массива. Ретроспективным анализом выявлено, что если значения водопритоков за этот период времени превышают пороговый уровень, то следует ожидать реализации значительного сейсмического события (с энергией более $1E + 07$ Дж) или серию более слабых событий. Так, пороговыми значениями водопритоков в периоды «предыстории» являются: по р/с № 4 в весенний период $48 \text{ м}^3/\text{ч}$, в осенний — $88 \text{ м}^3/\text{ч}$; по р/с № 5, соответственно, 61 и $89 \text{ м}^3/\text{ч}$; по р/с № 6 — 29 и $34 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Методика комплексной оценки данных метео- и гидромониторинга для выявления периодов сейсмической активности реализуется с помощью разработанных блок-схем (алгоритма) (**рис. 2**) и программного обеспечения Seasonal Seismic Activity Identification System (AS SSAIS) для автоматизированной обработки большого объема данных, построения таблиц и графиков зависимостей факторов влияния, анализа и прогноза сейсмической активности (**рис. 3**). Важнейшей частью программного обеспечения является блок выбора анализируемого участка массива и временного интервала комплексного анализа.

В качестве примера ниже показан комплексный анализ данных метео- и гидромониторинга осенью 2004 г. и весной 2005 г. в зоне стыковки Расвумчоррского подземного рудника и карьера рудника «Центральный», который позволил установить периоды активизации сейсмичности на месторождении Плато Расвумчорр и дать прогноз опасных сейсмособытий. Результаты комплексного анализа и прогноза представлены в формате AS SSAIS (**рис. 4**).

Как видно на рис. 4, а, в период 16–19 сентября 2004 г. происходило превышение критического уровня водопритоков на рудоспусках. АСКСМ 19.09.04 зарегистрировано сейсмическое событие с энергией $1,7E + 07$ Дж, а 24.09 в 19:04:42 в районе рудоспуска № 6 рудника «Центральный» произошло сейсмиче-

ское событие с энергией $2,15E + 09$ Дж (магнитуда 2,2 по данным Кольского регионального сейсмологического центра Геофизической службы РАН), которое сопровождалось длительной афтершоковой серией сейсмических событий и ощущалось жителями г. Кировска и пос. Кукисвумчорр. Как показали результаты исследований, техногенное землетрясение и динамическое проявление горного давления в выработках, прилегающих к рудоспуску № 6, были вызваны подвижкой по разлому, заполненному окисленными породами.

Проведенный ретроспективный анализ данных метео-, гидро- и сейсмомониторинга показал, что в середине мая 2005 г., за шесть дней до техногенного землетрясения, установлено превышение критических значений водопритоков на рудоспусках № 5 и 6 и отмечен рост сейсмичности (см. рис. 4, б). 25 мая в 8:47 АСКСМ зарегистрировано событие с энергией $6,7E + 07$ Дж, далее в течение дня зарегистрировано еще семь сильных геодинамических явлений с энергетическим диапазоном ($1,7E + 07$) — ($1,3E + 08$) Дж.

Серии толчков в районе рудоспусков № 4 и 6 ощущались в подземных выработках и зданиях административно-бытовых комплексов Центрального и Расвумчоррского рудников. На уступах карьера Центрального рудника наблюдалось осыпание породы по зоне шпреуштейнизации; в подземных выработках околоствольного двора рудоспуска № 4 — вывалы монолитного бетона объемом до $0,7 \text{ м}^3$, продольные трещины в бетоне по кровле с раскрытием 1–3 см и протяженностью 10–20 м.

Таким образом, для месторождений и рудников АО «Апатит» разработан и освоен современный технико-технологический комплекс прогнозирования динамики сейсмической активности на основе совместного анализа баз данных зарегистрированных сейсмических событий, метео- и гидромониторинга, с оценкой влияния выделенных природных факторов на техногенную сейсμοактивность.

Библиографический список

1. Труды Государственного научно-исследовательского института горнохимического сырья. Вып. 10: Хибинские апатитовые месторождения. — М.: Недра, 1965. С. 291–292.
2. Жукова С. А. Влияние обводненности пород на сейсмичность месторождения апатит-нефелиновых руд // Добыча и переработка руд в условиях ухудшения их залегания и снижения качества : тез. докл. научной школы молодых ученых и специалистов. — Апатиты : Горный институт КНЦ РАН, 2009. С. 10–12.
3. Козырев А. А., Аккуратов М. В., Федотова Ю. В., Жукова С. А. Влияние обводненности пород на сейсмичность // Комплексные геолого-геофизические модели древних щитов : тр. Всерос. (с международным участием) науч. конф. — Апатиты : Геологический институт КНЦ РАН, 2009. С. 243–247.
4. Федотова Ю. В., Жукова С. А. Влияние природных факторов на проявления техногенной сейсмичности // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : материалы шестой Международной сейсмологической школы. — Обнинск : ГС РАН, 2011. С. 340–343.

5. 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, p. 157. [PX](#)

Жукова Светлана Александровна,
e-mail: SZukova@phosagro.ru
Самсонов Антон Владимирович,
e-mail: ASamsonov@phosagro.ru

“GORNYI ZHURNAL”/“MINING JOURNAL”, 2014, № 10, pp. 47–51	
Title	Assessment of natural impact on the seismicity in Khibiny Mountains
Author 1	Name & Surname: Zhukova S. A.
	Company: Geophysical Monitoring Center, Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Principal Engineer–Geophysicist
	Contacts: SZukova@prosagro.ru
Author 2	Name & Surname: Samsonov A. V.
	Company: Geophysical Monitoring Center, Apatit JSC (Kirovsk, Russia)
	Work Position: Category I Engineer–Geophysicist
Abstract	<p>Over the time of buildup and development, Apatit JSC has been drawing reserves from the apatite-nepheline ore deposits of the Khibiny Mountains: Apatite Circus, Rasvumchorr Plateau, Kukisvumchorr and Yukspor deposits. The long-term mining impact and the vast areas undermined, including faulting zones, condition the instability of the Khibiny Mountains area.</p> <p>The article describes the research of the relationship between the seismicity in the area of the long-term opencast and underground mining of the Khibiny apatite-nepheline ore and the seasonal watercut and water saturation of undermined rocks and mine goafs. Based on the research findings, criteria are set for water influxes that come before hazardous induced seismicity, and the procedure and the technology-and-equipment complex are developed on this basis for forecasting seismic activity dynamics depending on weather and ground water hydrology. The authors give real-life examples of the seismicity forecasting using the algorithm and the computer-aided programming Seasonal Seismic Identification System (AS SSAIS)</p> <p>Thus, for the conditions of Apatit JSC ore bodies and mines, the modern technology-and-equipment complex has been designed and adopted for forecasting seismic activity dynamics based on the joint analysis of the seismicity and weather and hydro-monitoring, with the assessment of natural impact on the induced seismicity.</p>
Keywords	Open pit mines, underground mines, undermined rock masses, mined-out areas, atmospheric fallout, seasonal water influx, watercut and water saturation, increased seismic activity, forecasting procedure, software system.
References	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Trudy Gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gornokhimicheskogo syr'ya. Vypusk 10, Khibinskie apatitovye mestorozhdeniya</i> (Proceedings of State Scientific-Research Institute of Mining-Chemical Raw Materials. Issue 10, Khibiny apatite deposits). Moscow : Nedra, 1965. pp. 291–292. (in Russian). 2. Zhukova S. A. <i>Vliyaniye obvodnennosti porod na seysmichnost mestorozhdeniya apatit-nefelinovykh rud</i> (Influence of water cut of rocks on seismicity of apatite-nepheline ores deposit). Dobycha i pererabotka rud v usloviyakh ukhudscheniya ikh zaleganiya i snizheniya kachestva : tezis dokladov nauchnoy shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov (Extraction and processing of ores in conditions of complication of their bedding and quality decreasing : thesis of reports of scientific school of young scientists and specialists). Apatity : Mining Institute of Kola Science Center of Russian Academy of Sciences, 2009. pp. 10–12. 3. Kozyrev A. A., Akkuratov M. V., Fedotova Yu. V., Zhukova S. A. <i>Vliyaniye obvodnennosti porod na seysmichnost (Influence of water cut of rocks on seismicity). Kompleksnye geologo-geofizicheskie modeli drevnykh shchitov : trudy Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchnoy konferentsii</i> (Complex geological-geophysical models of ancient rock beds : proceedings of All-Russian scientific conference (with international participation)). Apatity : Geological Institute of Kola Science Center of Russian Academy of Sciences, 2009. pp. 243–247. 4. Fedotova Yu. V., Zhukova S. A. <i>Vliyaniye prirodnykh faktorov na proyavleniya tekhnogennoy seysmichnosti</i> (Influence of natural factors on anthropogenic seismicity events). <i>Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh</i> (Modern methods of seismological data processing and interpretation). Materialy shestoy Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly (Materials of the 6-th International seismological school). Obninsk : Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 2011. pp. 340–343. 5. 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. Montpellier, France, 6–10 September 2010. p. 157.