

УДК 550.834

**МАЛОГЛУБИННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

**И. А. Санфиров, Ю. И. Степанов, К. Б. Фатькин,
И. Ю. Герасимова, А. И. Никифорова**

*Горный институт УрО РАН, E-mail: sanf@mi-perm.ru,
ул. Сибирская, 78а, 614007, г. Пермь, Россия*

Представлена схема геофизического обеспечения безопасной разработки Верхнекамского калийного месторождения. Содержание и реализация различных этапов данной схемы проиллюстрированы практическими примерами. Рассмотрены возможности комплексной интерпретации сейсмо- и электроразведочных исследований с целью локализации и контроля негативных природно-техногенных процессов в отложениях, вмещающих калийную залежь.

Упругие волны, электрическое сопротивление, растворение, замещение, разубоживание, мониторинг

Для современной калийной отрасли применение геофизических исследований в системе обеспечения безопасной разработки продуктивных отложений уже на протяжении более двух десятков лет является обязательным элементом [1]. Значимый толчок для реализации подобного подхода в пределах крупнейшего в Европе и единственного для территории России Верхнекамского месторождения калийных солей [2] придала первая в его истории крупная авария 1986 г., приведшая к затоплению одного из рудников.

На сегодняшний день комплекс геофизических исследований на Верхнекамском месторождении включает грави-, сейсмо- и электроразведку. Применяются наземные, подземные и наземно-подземные модификации. Геофизические работы, согласно [3], выполняются в три этапа: 1) опережающие наземные геофизические исследования на этапе подготовки к вскрытию отдельного участка шахтного поля; 2) подземные, наземные и наземно-подземные геофизические исследования на этапе проведения подземных разведочных и подготовительных работ; 3) мониторинговые геофизические исследования в ходе и после выполнения очистных работ.

Результаты работ первого этапа входят в состав параметрического обеспечения геомеханических расчетов проектных параметров подземных горных работ.

Прогнозные модели и параметры горных работ уточняются на втором этапе ведения геофизических исследований как за счет целевого проектирования конфигурации подготовительных выработок, так и за счет новых методических решений. Дополнительные возможности появляются благодаря существенному повышению частотного диапазона сейсмоакустических исследований во внутренних точках среды, обеспечивающему метровую разрешающую способность при детализации физико-геологических моделей первого этапа.

Третий этап геофизических работ направлен на контроль состояния горного массива в пределах аномальных участков подработанной части территории шахтных полей.

Геологическая модель месторождения обуславливает методические подходы к реализации геофизических технологий. Необходимость изучения интервала малых глубин (до 500 м), характеризующегося слоистым, квазипластовым залеганием, специфической вертикальной и латеральной литологической зональностью, определяет значимость и масштаб наблюдений каждого метода. Гравиразведочные исследования носят относительно региональный характер и в основном реализуются в рамках первого этапа геофизического обеспечения месторождения. Электроразведочные исследования выступают в рамках детализационных и применяются на втором и третьем этапах. При этом глубинность наземных электроразведочных наблюдений ограничивается глубиной залегания верхних пластов каменной соли в отложениях, перекрывающих продуктивную залежь.

Основным геофизическим методом опережающего горные работы прогнозирования геологических неоднородностей и контроля состояния подработанного горного массива являются наземные сейсморазведочные работы. Наглядным примером решения задач первого этапа геофизического обеспечения служит сейсморазведочная оценка возможного влияния геологических неоднородностей осадочного чехла на калийную залежь.

В осадочном чехле в пределах Соликамской впадины Предуральского краевого прогиба, к которой приурочено Верхнекамское месторождение, установлен широкий набор разного рода геологических неоднородностей. С позиции влияния на особенности строения калийной залежи наибольший интерес представляют крупные рифогенные образования позднедевонско-турнейского возраста [4].

По результатам нефтяной сейсморазведки прошлых лет в центральной части Верхнекамского месторождения в пределах проектируемой под разработку части шахтного поля выделен крупный риф девонского возраста. С целью уточнения контура вскрытой одной из солеразведочных скважин зоны замещения продуктивных отложений по сети профилей выполнены сейсморазведочные исследования по методике НМСВР [5].

В интервале соленосной толщи по нарушениям структуры волновой картины, снижению интенсивности и значениям скоростной характеристики на профильных линиях выделен ряд участков, отождествленных с влиянием зоны разубоживания пласта Кр-2 (рис. 1). При их локализации учитывалась согласованность негативных изменений анализируемых сейсмических параметров — так называемый “комплексный параметр” т. е. сумма промежуточных результатов, нормированная к заданному значению [6]. Процесс получения его значений основан на совместном использовании независимых количественных характеристик волнового поля: частота, эффективные скорости, амплитуда, отношение сигнал\помеха. Выявленные аномалии волнового поля в основном обусловлены изменением литологической характеристики разреза, что и выражается в преобладающем по сравнению с другими параметрами снижении эффективных скоростей.

Для оценки степени негативных изменений и пространственных закономерностей локализации осложнений волнового поля построена карта распределения комплексного параметра. В западной части рифа отмечается соответствие областей повышенных значений комплексного параметра зонам распространения гребневых и рифово-платформенных отложений, тогда как внутририфово-лагунные образования в южной и юго-восточной частях массива характеризуются его пониженными значениями [7].

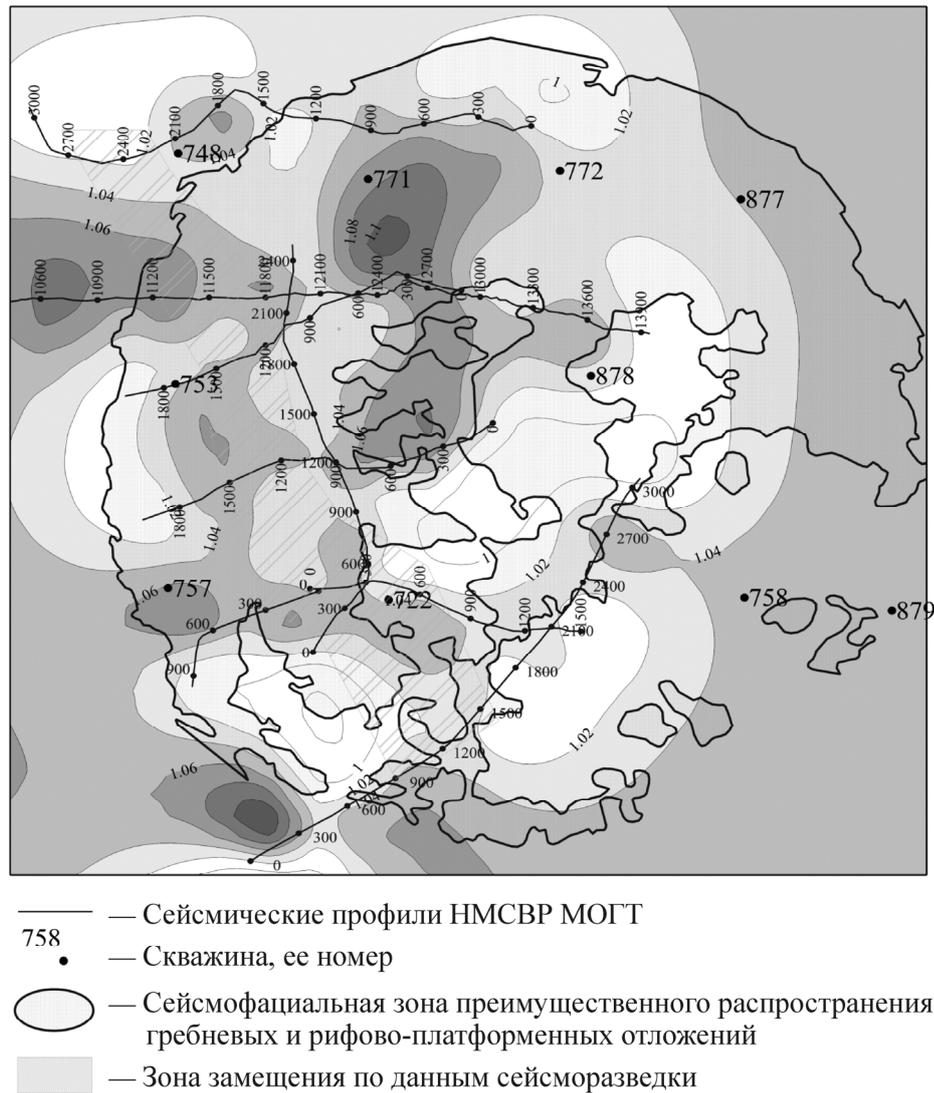


Рис. 1. Зона разубоживания пласта Кр-2

Таким образом, наиболее ослабленная, нарушенная и, возможно, некондиционная с точки зрения калийной промышленности зона тяготеет к области развития гребневых и рифово-платформенных отложений. К ним же приурочены и забалансовые запасы сильвинита пласта Кр-2. Расположение данной зоны и изменение свойств породного массива учитывается при геомеханическом обосновании параметров отработки.

В дальнейшем строение подобных участков и оценка их потенциально негативного влияния на горные работы уточняется уже в процессе эксплуатации и большей частью на основе комплексирования методов. В качестве положительного примера подобного комплексирования можно привести совместную интерпретацию сейсмо- и электроразведочных данных для оценки горнотехнического влияния на надсоляную толщу. Из электроразведочных характеристик анализируются кажущиеся сопротивления и потенциалы естественного поля, из сейсморазведочных — все, входящие в расчет комплексного параметра [6]. На рис. 2 приведен подобный пример совместной интерпретации. В пределах участков осложнений сейсмического волнового поля (рис. 2) оценивается согласованность отрицательных изменений скоростей распространения упругих волн и кажущегося сопротивления.

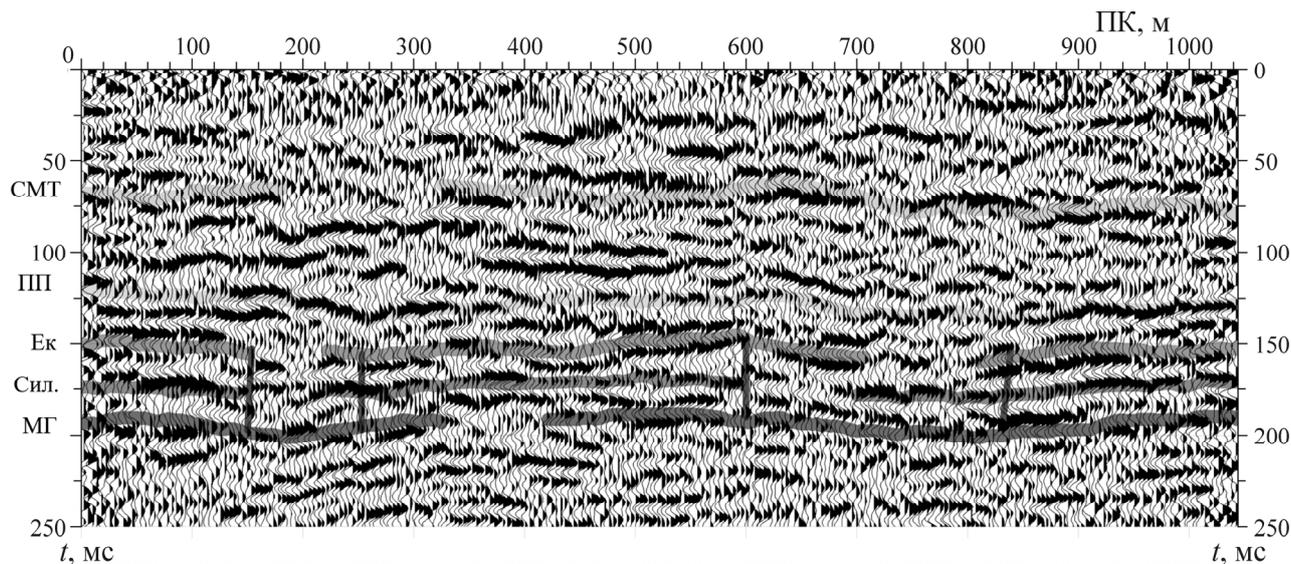


Рис. 2. Осложнения волнового поля, выделенные на временном разрезе

При понижении значений сопротивления (рис. 3) можно предполагать наличие значимой обводненности в потенциально нарушенной зоне. Повышение значений сопротивления является признаком трещиноватости, разрыхленности надсоляных отложений в подобной зоне. Динамика гидрогеологических процессов в предположительно ослабленных и обводненных зонах оценивается по изменчивости потенциала естественного поля. Наличие значимых отрицательных градиентов (рис. 3) подтверждает ее возможность.

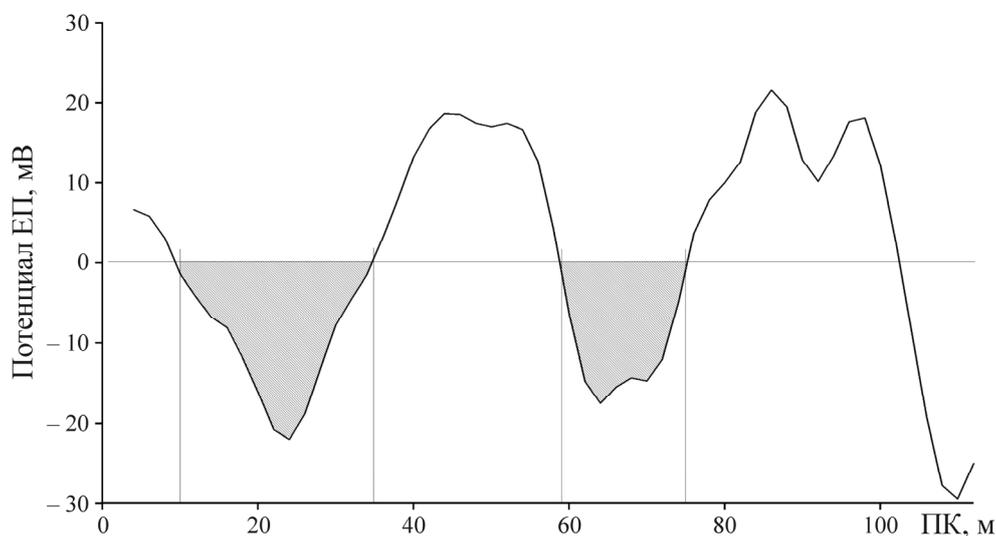


Рис. 3. График потенциалов естественного поля

Участки осложненного геологического строения продуктивной залежи и вмещающих ее отложений, выделенные на первых двух этапах, остаются под геофизическим контролем и в процессе разработки. Подобные исследования составляют содержание третьего этапа геофизического обеспечения. Задачей данного этапа является также контроль возможного негативного развития и расширения известных в пределах месторождения аварийных участков.

Такая ситуация сложилась в южной части Верхнекамского месторождения калийных солей после затопления в 1986 г. одного из рудников. Кроме проблем, связанных с последствиями техногенной катастрофы, в пределах рассматриваемого участка по геологоразведочным данным предполагается и сложное строение исследуемого интервала геологического разреза. Его существенной особенностью является присутствие дизъюнктивных и пликативных осложнений в виде малоамплитудных нарушений, крупных и средних складок различной природы и масштаба, аномальных образований в продуктивной соляной толще: зон трещиноватости, литологического замещения. Основная задача проводимых исследований — оценить возможность негативного влияния затопленного рудника на приграничные площади продуктивных отложений и определить пределы его распространения.

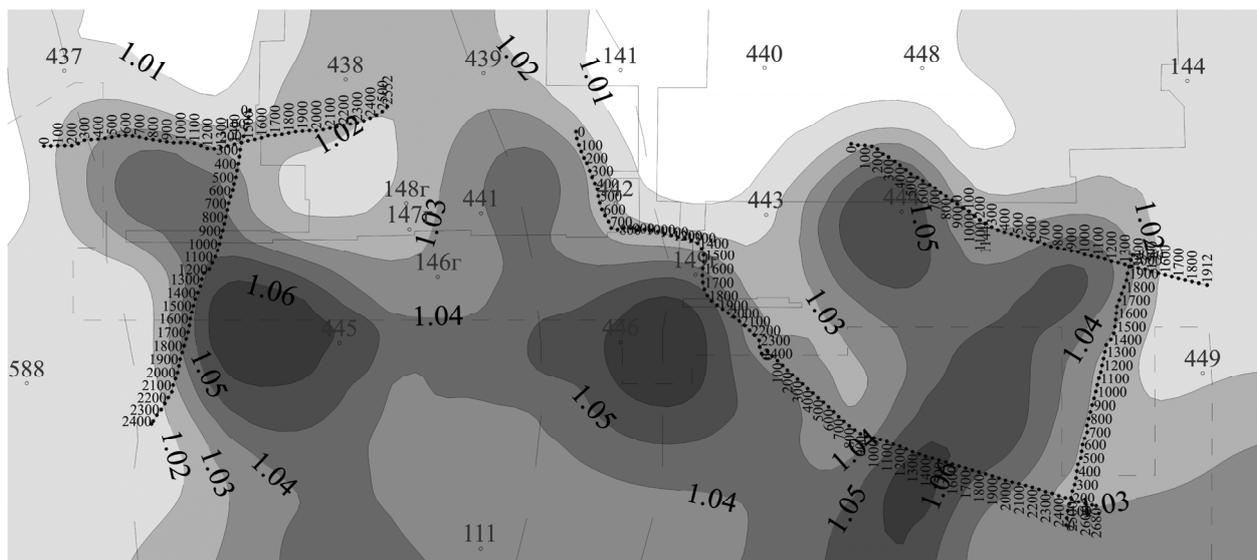


Рис. 4. Схема распределения комплексного параметра

В результате обработки и интерпретации сейсморазведочных данных определен ряд участков, отличающихся от вмещающего массива нестабильностью значений скоростных характеристик, повышенным затуханием, изменчивостью структуры волновой картины и аномальными значениями комплексного параметра. Такие участки обусловлены наличием как геологических, так и техногенных неоднородностей в разрезе. К геологическим неоднородностям относятся литофациальные изменения в продуктивных отложениях, складчатость, к техногенным — зоны влияния выработанного пространства, усиленного фактором затопления. Разделение сейсморазведочных аномалий на природные и техногенные выполнялось с учетом архивной схемы выработок затопленного шахтного поля. Так, на схеме комплексного параметра повышенными значениями отмечается приграничная с контуром отработки область (рис. 4). Средние размеры простираения зон повышенных значений соизмеримы с таковыми зоны Френеля, составляющей 150–250 м для интервала продуктивной толщи.

Дополнительные возможности классификации сейсморазведочных аномалий по происхождению открываются в результате AVO-анализа — изучение изменений интенсивности отраженной волны с удалением от пункта взрыва [8]. Конфигурация и плотность сейсмических профилей позволила построить площадную схему так называемого “AVO-произведения”,

представляющего комбинацию $A \times B$ (рис. 5). Это дало возможность отсеять аномалии 1-го (A — положительно, B — отрицательно) и 2-го ($A = 0$, B — отрицательно) классов и выявить зоны с низким акустическим импедансом, среди которых по схеме распределения индикатора вида $A + B$ (рис. 6) выделяются предполагаемые области водонасыщения вмещающих пород в исследуемом интервале глубин [9].

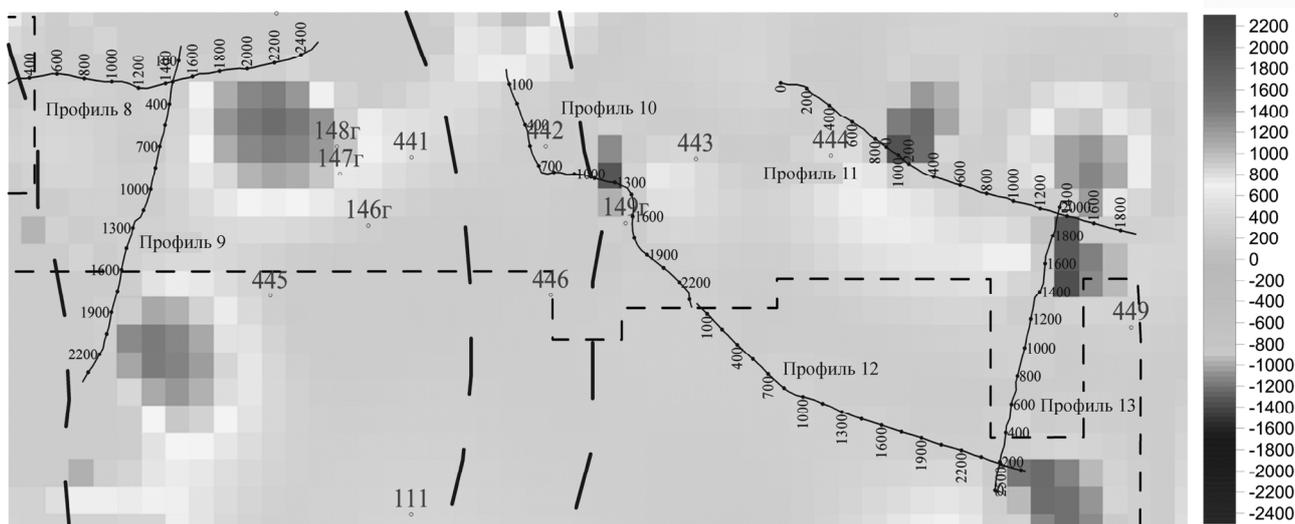


Рис. 5. Схема распределения значений “AVO-произведения” $A \times B$ по горизонту Е

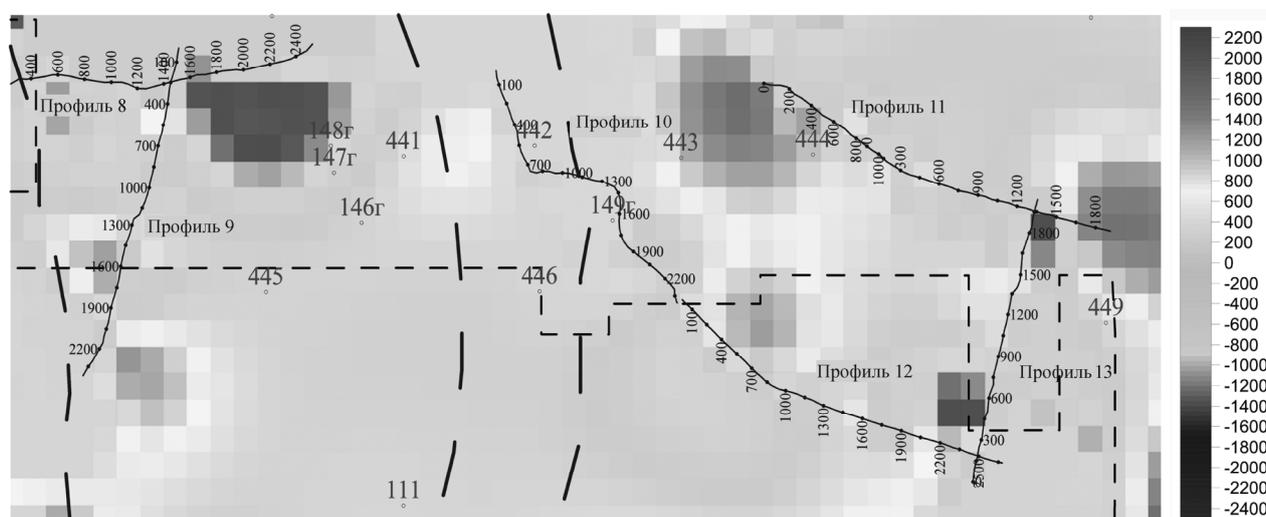


Рис. 6. Схема распределения значений “индикатора $A+B$ ” по горизонту Е

Совместный анализ интерпретационных параметров с результатами структурных и скоростных сейсмических построений установил приуроченность предполагаемых областей “размыва” к низкоскоростным участкам с повышенным структурным градиентом продуктивных отложений. Проведение подобного рода наблюдений с определенным временным периодом, уточняемым по получению результатов, позволит оценить и динамику развития возможных негативных процессов в межшахтных барьерных целиках для оптимизации их параметров.

ВЫВОДЫ

Представленные примеры хотя и отвечают всем этапам геофизического обеспечения безопасной разработки Верхнекамского месторождения, но отражают далеко не полный объем возможных практических приложений геофизических технологий при решении различных задач горного производства. Значительные перспективы их развития связаны с более масштабным привлечением в единое информационное пространство (при составлении интерпретационных заключений) результатов шахтных и скважинных геофизических исследований, а также с реализацией современных пространственных систем сбора данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gendzwill D. J., Stead D.** Rock mass characterization around Saskatchewan potash mine opening using geophysical techniques: a review, *Canadian Geotechnical Journal*, 1992, Vol. 29, No. 4.
2. **Новоселицкий В. М., Санфи́ров И. А., Щербинина Г. П., Юзвак В. П.** Геофизическое обеспечение разработки Верхнекамского месторождения калийных солей // *Изв. вузов. Горн. журн.* — 1995. — № 6.
3. **Указания** по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях ВКМКС. — СПб., 2004.
4. **Барях А. А., Санфи́ров И. А., Еремина Н. А. и др.** О влиянии рифогенных образований на структуру верхних этажей осадочного чехла // *ДАН.* — 1998. — Т. 363. — № 3.
5. **Санфи́ров И. А.** Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996.
6. **Санфи́ров И. А., Пригара А. М.** Использование динамических характеристик сейсмических записей для уточнения прочностных характеристик массивов горных пород // *Горное эхо.* — 2002. — № 3(9).
7. **Никифорова А. И.** Оценка пространственных закономерностей распределения осложнений волнового поля для интервала соленосной толщи в пределах рифового массива // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр.* — Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. — Вып. 9.
8. **Rutherford S. R., Williams R. H.** Amplitude-versus-offset variations in gas sands, *Geophysics*, 1989, Vol. 54, No. 6.
9. **Gerasimova I. Y., Sanfirov I. A., Fatkin K. B., and Belkin V. V.** Seismic research of the flooded salt mine, 4 Saint Petersburg international Conference & Exhibition, 2010.

Поступила в редакцию 16/V 2013