

УДК 550.837

**А.А. Филимончиков, А.В. Татаркин**

## **ОЦЕНКА РИСКОВ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

*Рассмотрен опыт применения электроразведочных исследований для оценки рисков изменений геотехнических условий на примере Верхнекамского месторождения калийных солей. Предлагается методика оценки рисков, основанная на выделенных в результатах интерпретации закономерностях и критериях.*

*Ключевые слова: электроразведка, геотехнические условия, оценка рисков, подработанные территории, соляной карст, провалы.*

---

**Г**еотехнические условия [6] играют важную роль при строительстве, эксплуатации и реконструкции инженерных сооружений. Совокупность геологических и технических факторов в первую очередь влияет на безопасность эксплуатации сооружений. Особенно актуальным является оперативное получение достоверной информации об изменении геотехнических условий в зонах повышенного риска, сопровождаемых катастрофическими явлениями природного или техногенного характера.

Как правило, геотехнические условия определяются в рамках инженерно-геологических изысканий. Однако в ряде случаев, границы изучения расширяются, например, на подработанных территориях подземных месторождений, где осложняющим фактором является сопряженность использования недр при их отработке. По ряду причин, эксплуатация месторождений может приводить к деформациям земной поверхности, а соответственно к изменению геотехнических условий.

В данной статье рассматриваются вопросы, связанные с выявлением закономерностей по результатам геофизических исследований для оценки возникновения рисков изменений геотехнических условий на

примере Верхнекамского месторождения калийных солей. В результате затопления рудника после аварии, произошедшей в 2007 г., под угрозой эксплуатации оказались здания и сооружения, находящиеся над шахтным полем. Растворение целиков и обрушение подземных выработок могли со временем приводить к нарушению водозащитной толщи, развитию соляного карста, а в дальнейшем к постепенным проседанием земной поверхности и катастрофическим явлениям – провалам.

Обеспечение безопасности функционирования жилых и производственных зданий и сооружений на подработанной территории г. Березники требовало прогноза развития возможных негативных ситуаций. Одним из инструментов прогноза являются геофизические методы, которые позволяют оперативно и с наименьшими экономическими затратами получать в пространстве и времени информацию об особенностях и изменениях свойств исследуемого объекта.

Среди большого количество различных направлений в геофизических исследованиях заметно выделяется методы электрметрии история возникновения, которых начинается с XX века. Электроразведка включает в себя огромное количество методов ис-

пользующих электромагнитные поля в диапазоне частот от долей Гц до МГц как искусственного, так и естественного происхождения [1]. Преимуществом использования электроразведки является большая чувствительность электрического сопротивления к изучаемым параметрам среды или объектов [2].

Исследования выполнялись в три этапа и были представлены комплексом методов, включающим двухразное профилирование, вертикальное электрическое зондирование, высокоточный мониторинг электрического сопротивления и оседаний земной поверхности.

На первоначальном этапе для получения общего представления о физическом состоянии надсолевой и солевой частей разреза проводилось региональное геофизическое обследование изучаемой территории двухразным профилированием. По результатам анализа материалов региональной съемки с учетом данных

геодезического мониторинга устанавливаются потенциально-опасные участки подверженные изменению геотехнических условий.

Второй этап включал в себя детализационные работы методом вертикального электрического зондирования в пределах участков, выделенных на предыдущем этапе. В полученной геоэлектрической модели определялись закономерности связанные с наличием или отсутствием признаков нарушения надсолевой (водозащитной толщи).

На заключительном – третьем этапе в пределах участков с выявленными признаками нарушения устанавливается сеть высокоточного мониторинга электрического сопротивления. По результатам мониторинга изучалась динамика изменений геотехнических условий.

Для определения критериев оценки состояния водозащитной толщи были проанализированы исследования, выполненные в 2006, 2011 и



**Рис. 1.** Обзорная схема участка исследований на территории БКПРУ-1

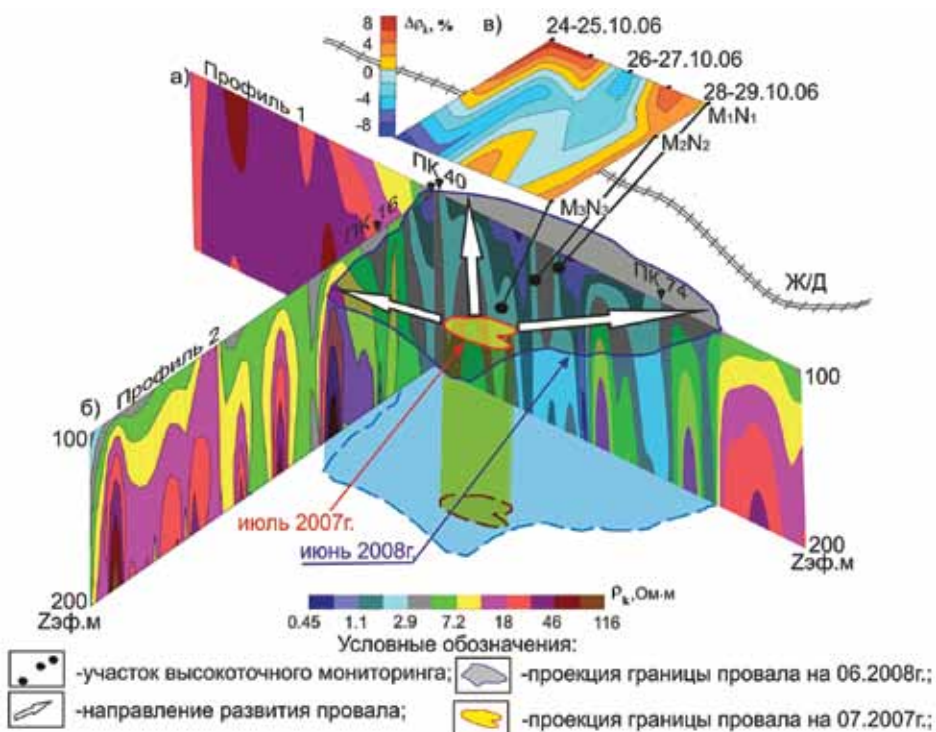
2012 г. на территории БКПРУ-1, охватывающие городскую и промышленную застройку г. Березники.

Остановимся на особенностях, выявленных в результате анализа полученных материалов. В октябре 2006 г. на аварийном участке БРУ-1 съемкой двухразносного профилирования выполнено изучение района прорыва подземных вод в горные выработки. Глубина изучения составляла 200 м [3].

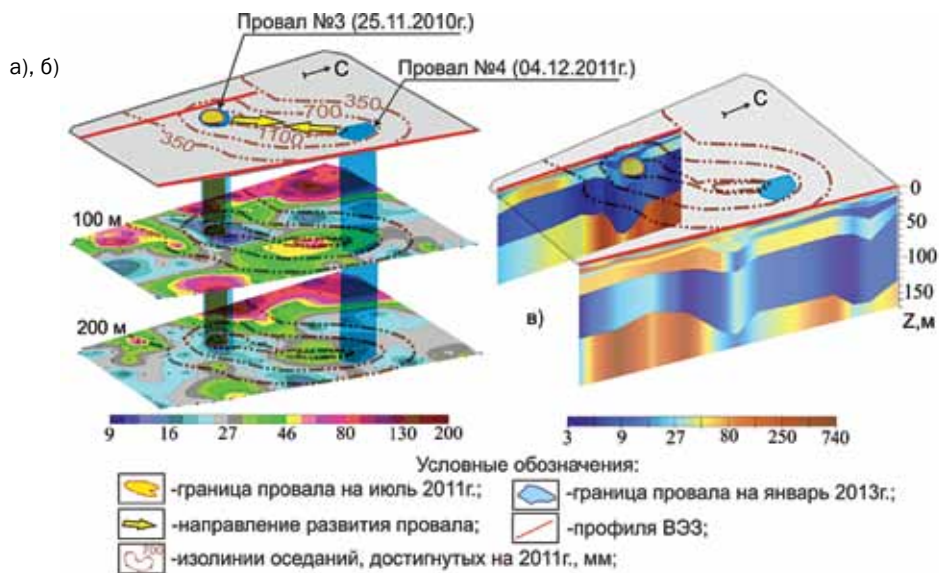
Полученные разрезы кажущихся электрических сопротивлений по двум отработанным профилям (рис. 2) фиксируют наличие низкоомной зоны с аномально пониженными электрическими сопротивлениями. Диапазон изменения сопротивлений в пределах аномальной зоны составляет от долей единицы до 5–7 Ом·м. Данная зона захватывает центральную часть

профиля 1 (пк. 40–74) и восточную окраину профиля 2 (пк. 0–16). По результатам мониторинга выявлена динамика уменьшения сопротивления надсолевой толщи в сторону железной дороги. Впоследствии окончательные границы образовавшегося в июле 2007 г. провала № 2 совпали с шириной аномальной зоны, а расширение провала происходило в направлении железнодорожных путей.

Другой пример связан с участком провала № 3. Исследования выполнены через полгода после его образования в 2010 г. [4]. Полученные разрезы и карты электрических сопротивлений  $\rho_k$  для двух эффективных глубин – 100 и 200 м (рис. 3), показали также наличие зон аномально пониженных сопротивлений ( $\rho_k = 5\text{--}20$  Ом·м), прослеживаемых в пределах исследуемой



**Рис. 2. Схема развития провала № 2:** а), б) – разрезы кажущегося сопротивления, в) – карта изменения кажущегося сопротивления по результатам мониторинга с 24.10 по 29.10.2006 г.



**Рис. 3. Результаты электроразведочных исследований (2011г.) в районе провала № 3:** а), б) – карты кажущегося сопротивления; в) – геоэлектрические разрезы

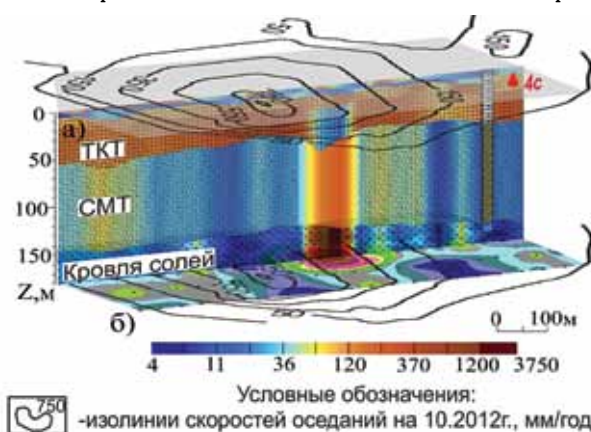
территории. Выделенные зоны имеют смещение эпицентров относительно мест обрушения земной поверхности. Данный факт нашел подтверждение в ходе формирования окончательных границ провала № 3 и образованием апреле 2011 г. провала № 4 в районе наиболее интенсивной из ранее выделенных аномальных зон.

Однако необходимо отметить, что эпицентр максимальных оседаний зем-

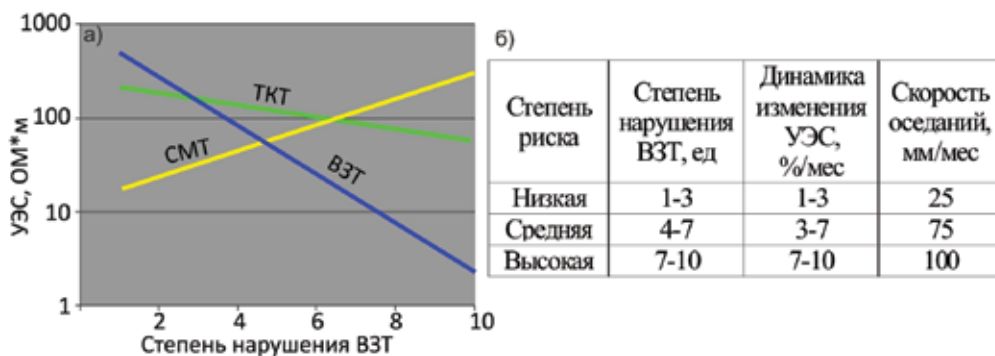
ной поверхности в районе будущего провала № 4 связан с аномалией высоких сопротивлений. Несмотря на неудачное положение профилей наблюдения относительно будущего провала, детализационные работы обнаруживают в районе оседаний слабую инверсию аномалий в терригенно-карбонатной и соляно-мергельной толще.

Ситуация с инверсией аномалий повторилась в исследованиях 2012 г. [5].

В результатах электропрофилирования одному из участков с максимальными оседаниями соответствовала аномалия высоких кажущихся сопротивлений. Можно предположить, что природа изменения сопротивлений связана, как с нарушением физических характеристик соляно-мергельной и терригенно-карбонатной толщ, так и изменением в них литологического состава. Для уточнения были выполнены исследования методом



**Рис. 4. Результаты электроразведочных работ (2012 г.):** а) – разрез удельного электрического сопротивления; б) – карта УЭС для кровли солей



**Рис. 5. К оценке рисков изменения геотехнических условий:** а) – корреляционная зависимость степени нарушения ВЗТ от электрического сопротивления надсолевой толщ; б) – оценка рисков возникновения провальных явлений

ВЭЗ. На разрезах отчетливо выделяются особенности, отмеченные на этапе качественной интерпретации. В пределах ТКТ в районе максимальных оседаний происходит уменьшение сопротивления в 3–7 раз, а в соляно-мергельной толще повышение сопротивления до 300 Ом·м (рис. 4).

Учитывая выдержанность разреза по площади и отсутствие отложений с данным сопротивлением в вышележащей толще, можно предположить о газонасыщении пород СМТ или их отсутствии. При этом поры, полость или вода могут содержать газ, выделенный при растворении ВЗТ и продуктивной толщ. Данный факт в дальнейшем нашел подтверждение в материалах геохимических исследований.

В результате выявленных закономерностей предлагается методика оценки риска изменений геотехнических условий. В ее основе лежат следующие критерии:

- начальная стадия нарушения водозащитной толщ (ВЗТ) отмечается низкими аномальными значениями электрического сопротивления до 3 Ом·м и отличающихся от фоновых значений – вмещающих или не нарушенных пород – в три и более раз;

- стадия растворения ВЗТ и выщелачивания солей сопровождается инверсией геоэлектрических свойств

терригенной (ТКТ) и соляно-мергельной (СМТ) толщ вследствие высвобождения газа в вышележащие горизонты, их газонасыщения и изменения гидрогеологического режима. При этом происходит повышение электрического сопротивления (СМТ) до 500 Ом·м и понижение ТКТ до 40 Ом·м;

- динамика разрушения водозащитной и надпродуктивной толщ сопровождается изменением во времени электрического сопротивления до 10%/мес.;

- образование провала происходит со смещением в плане относительно выделяемых аномалий сопротивления (100–300 м).

По результатам исследований (2006–2012 гг.) составлены корреляционные зависимости степени нарушения ВЗТ от электрического сопротивления водозащитной, соляно-мергельной и терригенно-карбонатной толщ (рис. 5, а).

В дальнейшем с учетом степени нарушения ВЗТ, динамики изменения электрического сопротивления, полученных в результате высокоточного мониторинга и данных инструментального контроля оседаний земной поверхности, предлагается районирование по оценке рисков изменений геотехнических условий и возникновении провальных явлений (рис. 5, б).

1. Жданов М.С. Электроразведка. – М.: Недра, 1986.

2. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. – М.: Гостоптехиздат. – 1962.

3. Колесников В.П., Татаркин А.В. Экспресс-методы электротометрии при выявлении и контроле состояния зон нарушения водозащитной толщи в условиях соляного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 5. – С. 164–172.

4. Колесников В.П., Татаркин А.В. и др. Отчет о НИР по х/д: «Проведение опытно-

методических геофизических работ на аварийном участке БКРУ-1 в районе БШСУ». Фонды ОАО «Галургия». – 2011.

5. Колесников В.П., Татаркин А.В. и др. Отчет о НИР по х/д: «Выявление и мониторинг потенциально опасных участков образования деформаций земной поверхности на подработанной территории г. Березники». Фонды ОАО «Галургия». – 2012.

6. ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге». **ГИАС**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Филимончиков Александр Алексеевич – аспирант, e-mail: af4990@mail.ru,

Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Татаркин Алексей Викторович – кандидат технических наук, начальник отдела

геофизических исследований, e-mail: vsto08@mail.ru, ООО НИПППГД «Недра».

UDC 550.837

## RISK EVALUATION OF GEOTECHNICAL CONDITIONS CHANGES ON UNDERWORKED AREAS

Filimonchikov A.A., Graduate Student, e-mail: af4990@mail.ru, Perm State National Research University,

Tatarkin A.V., Candidate of Engineering Sciences, Chief of Geophysical Researches Department,

e-mail: vsto08@mail.ru, SRPPENCA «Nedra» Ltd.

*Experience of application electrical surveys for risk evaluation of geotechnical conditions changes on the Verkhnekamskoe potassium salt deposit example is given. Risk evaluation technique, based on distinguished in interpretation process regularities and criterion is proposed.*

**Key words:** electric prospecting, geotechnical conditions, risk evaluation, underworked areas, salt karst, collapse of the earth's surface.

## REFERENCES

1. Zhdanov M.S. *Jelektrorazvedka* (Electric exploration), Moscow, Nedra, 1986.

2. Kobranova V.N. *Fizicheskie svoystva gornyh porod* (Physical properties of rocks), Moscow, Gostoptehizdat, 1962.

3. Kolesnikov V.P., Tatarkin A.V. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2008, no 5, pp. 164–172.

4. Kolesnikov V.P., Tatarkin A.V. *Otchet o NIR po h/d: «Provedenie opytно-metodicheskikh geofizicheskikh rabot na avarijnom uchastke BKRU-1 v rajone BShSU»* (Research and development report on test geophysical survey on an emergency site in Berezniki Mine-1 in the area of Berezniki Mine Construction Department), Fondy «Galurgija», 2011.

5. Kolesnikov V.P., Tatarkin A.V. *Otchet o NIR po h/d: «Vyjavlenie i monitoring potencial'no opasnyh uchastkov obrazovaniya deformacij zemnoj poverhnosti na podrabotannoj territorii g. Berezniki»* (Detection and monitoring of deformation-hazardous regions on the undermined territory of Berezniki township), Fondy «Galurgija», 2012.

6. ТSN 50-302-2004 «*Proektirovanie fundamentov zdaniy i sooruzhenij v Sankt-Peterburge*» (Territorial Construction Standard 50-302-2004. Design of understructure of buildings and installations in Saint-Petersburg).