

УДК 550.837:622.847:622.363.2

**Д. Н. МУСАЛЕВ, Н. Н. ПРОХОРОВ, Н. Н. ИВАНОВА** (ОАО «Белгорхимпром»)  
**В. Э. ЗЕЙТЦ, Д. В. БАРБИКОВ** (ОАО «Беларуськалий»)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СТВОЛОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА УРОВНЕ ПРОДУКТИВНЫХ ГОРИЗОНТОВ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ



**Д. Н. МУСАЛЕВ,**  
 зав. лабораторией



**Н. Н. ПРОХОРОВ,**  
 ведущий научный сотрудник,  
 канд. техн. наук



**В. Э. ЗЕЙТЦ,**  
 главный маркшейдер



**Д. В. БАРБИКОВ,**  
 главный геолог



**Н. Н. ИВАНОВА,**  
 ведущий  
 инженер-программист

Дан краткий обзор геофизических методов дистанционного определения местоположения стволов геологоразведочных скважин из горных выработок продуктивных горизонтов Старобинского месторождения калийных солей. В качестве приоритетного рекомендован и (на ряде примеров) обоснован метод георадиолокационных исследований, обеспечивающий оперативное и достаточно точное решение задачи, что позволяет оптимизировать размеры околоскважинных водоохраных целиков, минимизировать риски прорыва воды из скважины и затопления горных выработок, а также сократить потери руды в целиках.

**Ключевые слова:** месторождение калийных солей, защита рудников от затопления, геологоразведочные скважины, водоохраные целики, продуктивные горизонты, геофизические методы, георадиолокация, георадар, профилирование, радарограммы.

Актуальной задачей при подземной разработке месторождений солей является защита рудников от затопления. Одним из путей проникновения вод в горные выработки могут быть вскрывшие пласты полезного ископаемого геологоразведочные скважины, если их стволы надежно не заизолированы от зоны активного водообмена. Известны случаи затопления рудников в результате вскрытия горными выработками стволов скважин, по которым отсутствовали или оказались недостоверными сведения о точном их местоположении.

С целью защиты от проникновения агрессивных к солям вод вокруг каждой скважины оставляют предохранительные целики, размеры которых зависят от положения ствола скважины в массиве горных пород (зенитное и азимутальное отклонения), конструкции скважины, наличия и высоты цементного «моста». При отсутствии точных данных о местоположении стволов скважин размеры околоскважинных целиков произвольно и значительно увеличиваются, что влечет за собой дополнительные нетехнологические потери полезного ископаемого и снижение коэффициента его извлечения из недр.

Одним из способов точного определения местоположения ствола скважины на уровне разрабатываемых пластов являются дистанционные геофизические методы исследований из горных выработок. В настоящее время известно весьма ограниченное число проведенных исследований. Так, в процессе детальной разведки глубоких горизонтов кимберлитовой трубки «Интернациональ-

ная» пробурены геологоразведочные скважины, которые впоследствии стали представлять серьезную угрозу затопления шахты [1]. Для определения точного местоположения стволов скважин проведены комплексные геофизические исследования с применением скважинного георадара направленного действия. Однако достигнутая дальность исследований по локации ствола скважины составляла в лучшем случае порядка 10 м.

В угольной промышленности с середины прошлого века начали применять шахтные геофизические методы для поиска скважин [2–4]. Расстояния до стволов скважин и их координаты определяли на основе геофизических измерений, выполненных из горных выработок с применением в основном акустической или электро-разведочной аппаратуры. В стволе скважины размещали источник акустических или электромагнитных колебаний, а в горных выработках с помощью специализированной аппаратуры проводили измерения наведенных физических (акустических или электромагнитных) полей. После обработки данных шахтных наблюдений и анализа параметров полученных физических полей определяли местоположение ствола скважины. По мнению специалистов ИГД имени А. А. Сочинского, при опытных работах в шахтах Донбасса наиболее эффективным оказался метод, основанный на регистрации электрического поля заряженного проводника («метод заряда» — МЗ). Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о хороших перспективах применения МЗ для поиска забоев



**Рис. 1. Георадарная съемка методом продольного профилирования по стенкам горной выработки с применением георадара «Грот-12»**

скважин при возможности размещения источника электрического тока в стволе скважины. На практике же доступ к забою скважины в большинстве случаев невозможен.

На Старобинском месторождении калийных солей в последние годы для определения местоположения стволов геологоразведочных скважин на уровне продуктивных горизонтов стали активно применять различные методы шахтной геофизики на участках, примыкающих к околоскважинным целикам геологоразведочных скважин [5, 6].

В 2004 г. сотрудниками лаборатории физико-математических методов исследования горного производства ОАО «Белгорхимпром» с привлечением специалистов геофизической экспедиции ОАО «Белгеология» проведены геофизические исследования методами сейсмо-, электро- и магниторазведки в выемочном столбе лавы № 59 рудника РУ-1. Одной из задач этих работ было определение местоположения геологоразведочной скважины № 32 на уровне Третьего калийного горизонта (следует отметить, что на уровне Третьего калийного горизонта в стволе скважины находилась металлическая труба, что значительно облегчило поиск ствола скважины). В 2009 г. на участке между шахтными стволами № 1 и 2 Краснослободского рудника РУ-2 выполнены шахтные геофизические исследования с применением радиолокационных, сейсмических и ультразвуковых методов по уточнению местоположения контрольно-стволовых скважин 1К и 2К на уровне Третьего калийного горизонта.

Проведенные исследования позволили выделить в качестве приоритетных для Старобинского месторождения методы георадиолокации с применением низкочастотных георадаров для определения местоположения стволов геологоразведочных скважин на уровне продуктивных горизонтов. В качестве дополнительных методов поиска стволов скважин, в зависимости от горно-геологической ситуации, условий ведения геофизических наблюдений и конструкции скважин, могут

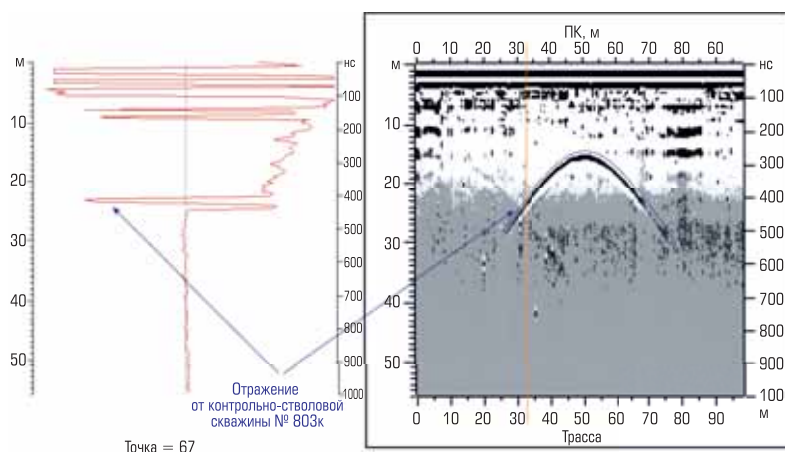
применяться также сейсмические и электроразведочные методы исследований.

В 2010–2011 гг. в ходе дальнейших исследований изучена разрешающая способность применяемых геофизических методов поиска скважин, выбраны системы наблюдений, способы обработки и интерпретации полученных данных. Исследования проводили в выработках Первого калийного горизонта рудника РУ-1 на участках, примыкающих к околоскважинным целикам скважин № 34 и 35; в выработках Третьего калийного горизонта рудника РУ-2 на участке вблизи целика скважины № 777г; в районе строящихся шахтных стволов № 5 и 6 Березовского рудника по определению местоположения контрольно-стволовых скважин на уровне Третьего калийного горизонта. Учитывая конструкции скважин и предполагаемые расстояния от них до профилей наблюдений, в качестве основного для решения поставленных задач выбран метод георадиолокационного профилирования с применением низкочастотного георадара «Грот-12» производства ЗАО «Таймер» (Троицкий административный округ г. Москвы) (рис. 1).

Было установлено, что метод георадиолокационного профилирования по стенкам горной выработки, пройденной по соляным породам в условиях Старобинского месторождения, позволяет выделять и фиксировать на радарограммах отражения от стволов геологоразведочных скважин даже при наличии в выработках таких помех, как металлическое оборудование, силовые электрокабели под напряжением, неровности стенок выработки, повышенная влажность почвы и стенок.

Отражения от стволов геологоразведочных скважин с диаметром бурения 93–112 мм уверенно фиксировались на радарограммах, если расстояния от точек наблюдения до скважины не превышали 20 м при наличии помех и увеличивались до 30 м при их отсутствии. Для обработки и интерпретации материалов шахтных геофизических наблюдений специалистами лаборатории физико-математических методов исследования горного производства разработано специальное программное обеспечение.

Точность определения местоположения стволов геологоразведочных скважин на уровне продуктивных горизонтов методом гео-



**Рис. 2. Форма записи сигнала и радарограмма, полученные по результатам георадиолокационных исследований методом продольного профилирования по стенкам главного западного транспортного штрека Юг-Б № 3 (Березовский участок, Третий калийный горизонт шахтного поля РУ-4)**

радиолокации проверена на участке шахтного поля РУ-4 ОАО «Беларуськалий». В октябре 2010 г. по результатам георадиолокационных исследований в главном западном штреке Юг-Б № 3 Третьего калийного горизонта в районе ствола № 6 строящегося Березовского рудника было определено местоположение контрольно-стволовой скважины № 803к (рис. 2).

В феврале 2011 г. при выполнении сопряжения ствола № 6 с выработками Третьего калийного горизонта ствол скважины № 803к был вскрыт и определено его точное местоположение на уровне горизонта. Сравнение фактических координат скважины и прогнозных, полученных методом георадиолокационного профилирования, показало высокую степень точности метода: скважина оказалась в пределах прогнозной области, отклонение фактического центра скважины от оси прогнозной области составило 0,009 м.

Исследования местоположения скважины № 803к позволили уточнить параметры применяемых систем наблюдений и усовершенствовать методику обработки и интерпретации материалов георадиолокационного профилирования вблизи околоскважинных целиков геологоразведочных скважин, а также разработать методику определения из горных выработок местоположения стволов скважин на уровне продуктивных горизонтов шахтных полей рудников ОАО «Беларуськалий». В октябре 2011 г. в районе водоохранного околоскважинного целика геологоразведочной скважины № 777г проведено опробование методики в выработках юго-западного направления на шахтном поле рудника РУ-2. Профили наблюдений располагались в разведочной выработке № 17 и в юго-западном транспортном штреке (южный ход) (рис. 3). Разведочная выработка № 17 пройдена у границы водоохранного околоскважинного целика скважины № 777г, а юго-западный транспортный штрек на этом участке — в околоскважинном целике в пределах зоны, в которой действующими нормативными документами разрешена проходка одиночной горной выработки.

На радарограммах, полученных в результате исследований методом продольного профилирования по стенкам юго-западного транспортного штрека, в интервале профиля наблюдений от пикета 1078 до пикета 1123 м уверенно фиксируется дифрагированная волна, отраженная от ствола скважины. Обработка материалов георадиолокационных наблюдений позволила определить местоположение ствола геологоразведочной скважины № 777г на уровне Третьего калийного горизонта — 15,2 м от юго-западного транспортного штрека, напротив пикета 1106,7 м (рис. 4).

Расстояние от профиля наблюдений в разведочной выработке № 17 до ствола скважины № 777г находится на пределе возможной глубины метода георадиолокации — более 30 м. Тем не менее на радарограммах, полученных при профилировании по стенкам выработки, удалось выделить отражения от ствола скважины. Обработка полученных материалов по-

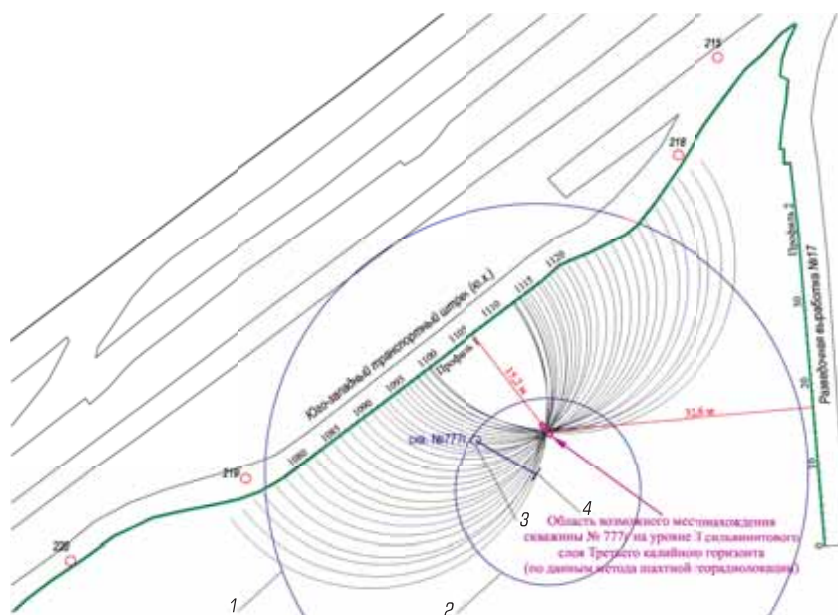
зволила установить, что скважина № 777г находится на расстоянии 32,6 м от разведочной выработки № 17, напротив пикета 17 м. Местоположение скважины, полученное по результатам исследований в транспортном штреке и разведочной выработке, совпадает (см. рис. 3).

В ходе дальнейших исследований по совершенствованию методики поиска скважин геофизическими методами планируется проведение дополнительных экспериментов по установлению дальности георадиолокационного профилирования в условиях, когда стволы геологоразведочных скважин на уровне продуктивных пластов имеют различное заполнение. Прорабатываются варианты увеличения дальности метода, например, путем модернизации имеющейся георадиолокационной аппаратуры с увеличением мощности излучаемого зондирующего импульса. Для повышения качества получаемых материалов и оперативности производства работ совершенствуется специализированное программное обеспечение.

Разработанные и применяемые геофизические методы определения местоположения стволов разведочных скважин на уровне разрабатываемых пластов калийных солей из горных выработок действующих рудников Старобинского месторождения позволяют оптимизировать размеры предохранительных целиков, снизить риски прорыва воды при проведении горных работ и сократить потери полезного ископаемого в водоохраных целиках геологоразведочных скважин.

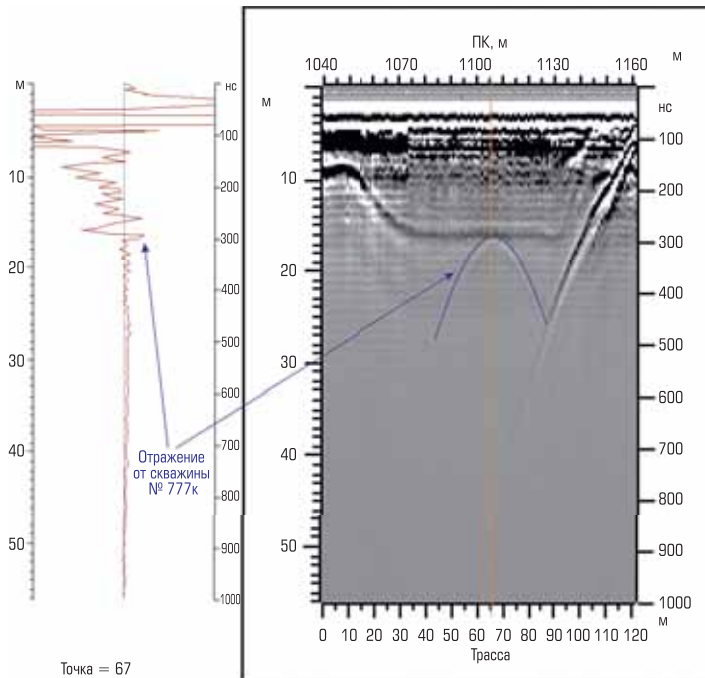
Библиографический список

1. Микоев И. И., Ванчугов В. А., Захаров Р. А., Новопашин В. Н., Файрузов Р. З. Опыт применения горно-геофизических технологий при поисках



**Рис. 3. План-схема участка геофизических исследований (Третий калийный горизонт рудника РУ-2, выработки юго-западного направления):**

1 — граница целика скважины № 777г; 2 — граница зоны, в пределах которой запрещено проведение горных выработок; 3 — местоположение устья скважины № 777г на поверхности земли; 4 — расчетное положение ствола скважины на уровне Третьего калийного горизонта по данным инклинометрии



**Рис. 4. Форма записи сигнала и радарограмма, полученные при георадиолокационном исследовании методом продольного профилирования по стенкам юго-западного транспортного штрека (Третий калийный горизонт рудника РУ-2)**

и ликвидации незатампонированных геологоразведочных скважин при строительстве подземного рудника «Интернациональный» // Горный журнал. 2000. № 9. С. 15–17.

2. Анцыферов М. С. Звукометрический поиск скважин из горных выработок // Применение сейсмоакустических методов в горном деле : сб. науч. тр. — М. : Наука, 1964. — 187 с.

3. Молев М. Д. Опыт применения геофизических методов для оценки координат забоя технической скважины в массиве горных пород // ГИАБ. 2005. № 7.

4. Молев М. Д., Рудов Д. Н. Решение некоторых горнотехнических задач шахтными геофизическими методами // Вопросы геологии и разработки месторождений полезных ископаемых : сб. науч. тр. — Новочеркасск : Изд-во ЮРГТУ, 1999. С. 75–77.

5. Мусалев Д. Н., Прохоров Н. Н., Ефимов А. М., Вагин В. Б. Определение местоположения контрольно-стволовой скважины на уровне Третьего калийного горизонта Краснослободского рудника геофизическими методами // Нефтехимический комплекс. Научно-технический бюллетень. Приложение к журналу «Вестник Белнефтехима». 2010. № 2(5). С. 6–9.

6. Мусалев Д. Н., Прохоров Н. Н., Ефимов А. М., Вагин В. Б. Определение местоположения контрольно-стволовой скважины на уровне Третьего калийного горизонта нового рудника ОАО «Беларуськалий» геофизическими методами // Тез. докл. II Междунар. науч.-практич. конф. «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий», С.-Петербург, 12–13 мая 2011 г. — СПб. : СГГУ, 2011. С. 71–78. ГЖ

Мусалев Дмитрий Николаевич,  
e-mail: mdn@belgorhimprom.by  
Прохоров Николай Николаевич,  
e-mail: nick-prohorov@tut.by  
Зейтц Вячеслав Эдуардович,  
e-mail: zv@kali.by  
Барбиков Дмитрий Владимирович,  
e-mail: barbikov@kali.by  
Иванова Наталья Николаевна,  
e-mail: natal1903\_68@mail.ru

#### DEFINITION OF LOCATION OF GEOLOGICAL PROSPECTING BOREHOLES AT THE LEVEL OF PRODUCTIVE HORIZONS OF STAROBINSKY POTASSIUM SALTS DEPOSIT

Musalev D. N.<sup>1</sup>, Head of Laboratory, e-mail: mdn@belgorhimprom.by  
Prokhorov N. N.<sup>1</sup>, Leading Researcher, Candidate of Engineering Sciences  
Zeytts V. E.<sup>2</sup>, Chief Mine Surveyor  
Barbikov D. V.<sup>2</sup>, Chief Geologist  
Ivanova N. N.<sup>1</sup>, Leading Software Engineer

<sup>1</sup> «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)  
<sup>2</sup> «Belaruskali» JSC (Soligorsk, Republic of Belarus)

It is well-known that geological prospecting and absorption holes are one of the ways of possible water income into excavations in the time of underground mining of mineral deposits. Exact location of these deposits is important for efficient and safe carrying out of mining operations near the pillars.

Starobinsky potassium salts deposit is developed by «Belaruskali» JSC. In the last years, usage of geophysical methods was started at Starobinsky deposit for definition of location of geological prospecting boreholes at the level of productive horizons. The carried out researches made it possible to define the georadiolocation methods (using low-frequency georadars) as the main methods for definition of boreholes' location. Seismic or electrical prospecting research methods can be also used as additional methods of exploration of boreholes, depending on mining and geological situation, geophysical prospecting conditions and structure of wells.

Distant (geophysical) research methods are used for definition of exact location of boreholes at the level of developed layer of minerals from excavations of functioning mines of Starobinsky potassium salts deposit. These methods make possible to provide the carrying out of safe mine operations and considerable decreasing of losses of mineral in protective pillars. Developed methods of exploration of boreholes can be applied at other mineral deposits, which carry out the underground mining of deposits. Application of these methods is necessary for provision of safe conditions of mining operations near water protection pillars of geological prospecting wells.

**Key words:** salts deposit, flood protection of mines, geological protection wells, water protection pillars, productive horizons, geophysical methods, georadiolocation, georadar, profiling, radargram.

#### REFERENCES

1. Mikoev I. I., Vanchugov V. A., Zakharov R. A., Novopashin V. N., Fayruzov R. Z. *Gornyi Zhurnal – Mining Journal*, 2000, No. 9, pp. 15–17.
2. Antsyferov M. S. Zvukometricheskii poisk skvazhin iz gornyykh vyrabotok (Sound-ranging exploration of wells from excavations). *Primenenie seysmoakusticheskikh metodov v gornom dele : sbornik nauchnykh trudov* (Application of seismoacoustic methods in mining : collection of scientific proceedings). Moscow : Nauka, 1964. 187 p.
3. Molev M. D. Opyt primeneniya geofizicheskikh metodov dlya otsenki koordinat zaboya tekhnicheskoy skvazhiny v massive gornyykh porod (Experience of application of geophysical methods for estimation of coordinates of bottom of technical well in rock massif). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten – Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2005, No. 7.
4. Molev M. D., Rudov D. N. Reshenie nekotorykh gornotekhnicheskikh zadach shakhtnyimi geofizicheskimi metodami (Solving of some mining-technical tasks by mine geophysical methods). *Voprosy geologii i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh : sbornik nauchnykh trudov* (Problems of geology and development of mineral deposits : collection of scientific proceedings). Novocherkassk : Publishing House of Platov South-Russian State Polytechnic University, 1999, pp. 75–77.
5. Musalev D. N., Prokhorov N. N., Efimov A. M., Vagin V. B. *Neftkhimicheskii kompleks. Nauchno-tekhnicheskii byulleten. Prilozhenie k zhurnalu «Vestnik Belneftkhima» – Oil and chemical complex. Scientific-technical bulletin. Application to the journal «Belneftkhim Bulletin»*, 2010, No. 2(5), pp. 6–9.
6. Musalev D. N., Prokhorov N. N., Efimov A. M., Vagin V. B. Opredelenie mestopolozheniya kontrolno-stvolovoy skvazhiny na urovne Tret'ego kaliynogo gorizonta novogo rudnika Otkrytogo Aktsionernogo Obshchestva «Belaruskali» geofizicheskimi metodami (Geophysical definition of location of control-shaft well on the level of Third potassium horizon of new mine of «Belaruskali» JSC). *Tezisy dokladov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsionnye napravleniya v proektirovaniy gomodobyvayushchikh predpriyatiy», Sankt Peterburg, 12–13 maya 2011 goda* (Thesis of reports of the II International scientific-practical conference «Innovation directions in designing of mining enterprises», Saint Petersburg, May 12-13, 2011). Saint Petersburg : Saint Petersburg Mining Institute, 2011, pp. 71–78.