

УДК 550.83:622.363.2

В. Б. ВАГИН, А. М. ЕФИМОВ, Е. В. КУЛАГОВ (ОАО «Белгорхимпром»)

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОЗАЩИТНОЙ ТОЛЩИ НАД КАЛИЙНЫМИ ГОРИЗОНТАМИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ



В. Б. ВАГИН,  
ведущий научный сотрудник,  
канд. геол.-минерал. наук



А. М. ЕФИМОВ,  
научный сотрудник



Е. В. КУЛАГОВ,  
инженер 2-й категории

*Представлены разработанные и рекомендуемые для калийных рудников ОАО «Беларуськалий» шахтные геофизические методы исследования и оценки состояния водозащитной толщи с целью своевременного осуществления комплекса технико-технологических мероприятий по защите подземных рудников от затопления.*

**Ключевые слова:** калийные рудники, водозащитная толща, глинисто-мергелистая толща, рассолонасыщенные породы, синклинальные погружения, шахтные геофизические исследования, сейсморазведка, электроразведка, интерпретация данных геофизики, оценка опасности затопления.

Одним из условий безопасной разработки соляных месторождений является достаточная мощность водозащитной толщи (ВЗТ) и ее способность препятствовать проникновению рассолов в горные выработки. Как показывает практика ведения горных работ на калийных рудниках Германии, США, Канады и России, скопления вод и рассолов в породах ВЗТ представляют серьезную опасность. Общее число затопленных в результате прорыва подземных вод и рассолов калийных рудников приближается к 100. Среди них рудник «Уинфилд» в США, рудники «Ванской» и «Пейшнс Лейк» в Канаде, рудник «Холл» в Конго, около 80 случаев затопления калийных рудников в Германии. Крупнейшими авариями в мире стали затопления Третьего (1986 г.) и Первого (2006 г.) Березниковских рудников ОАО «Уралкалий». Оба затопленных рудника восстановить не удалось, как и невозможно было остановить их затопление [1].

В подавляющем большинстве случаев прорывы вод, рассолов и затопления калийных рудников происходили из толщи залегающих непосредственно над соляными отложениями глинисто-мергелистых и карбонатных пород, формирующих водоносные и рассольные горизонты. Для условий Старобинского месторождения калийных солей опасность проникновения рассолов в горные выработки и затопления рудников не исключается, в связи с чем для безопасного ведения горных работ в зонах возможного ско-

пления рассолов в породах глинисто-мергелистой толщи (ГМТ) необходимы детальные сведения о геологическом строении пород ВЗТ, покрывающих Второй и Третий калийные горизонты. Наиболее перспективным направлением решения этой задачи является применение дистанционных геофизических методов исследований, в частности, шахтной (рудничной) геофизики для изучения строения ВЗТ на участках локальных понижений с амплитудой до 25 м и более, где в породах ГМТ возможно скопление рассолов с последующим их проникновением в горные выработки при ведении очистных работ в этих районах.

По результатам многолетних геофизических исследований на Старобинском месторождении методами подземной сейсморазведки теоретически обоснована и практически подтверждена возможность выявления геологической трещиноватости и локальных нарушений в породах соленосной толщи; определения мощности соленосных отложений; выявления участков синклинальных погружений в кровле соленосной толщи — зон возможного скопления рассолов, поступающих из нижней части ГМТ. Методами подземной электроразведки практически подтверждена возможность выявления участков пониженных удельных электрических сопротивлений в породах нижней части ГМТ, что показывает присутствие и скопление в ней рассолов.

В настоящее время актуальным является изучение особенностей строения краевых и приразломных участков шахтных полей, а также вовлекаемых в разработку новых участков и шахтных полей строящихся и недавно построенных рудников. Для решения этих задач разработан и применяется следующий комплекс шахтных геофизических методов: сейсморазведка методами отраженных волн (МОВ) и общей глубинной точки (МОГТ); электроразведка методами вертикального электрического зондирования (ВЗЗ) и электрического профилирования (ЭП), а также методом дипольного осевого зондирования (ДОЗ).

Одним из основных объектов исследований стала зона сочленения соленосной и глинисто-мергелистой толщ. Верхняя часть соленосных отложений представлена в виде нормально залегающего чередования пластов солей и глин, переходящего в зону выщелачивания, которая, в свою очередь, сменяется вверх по разрезу отложениями ГМТ. В зоне выщелачивания, сложенной глинисто-мергелистыми слоями, сохранились в виде останцев участки солей, слабо измененных денудационными процессами. В этих участках возможно наличие локальных карманов, заполненных выветренной породой. Такое строение зоны выщелачивания и в целом контакты отложений соленосной и глинисто-мергелистой толщ предполагают формирование сложных полей отраженных волн.

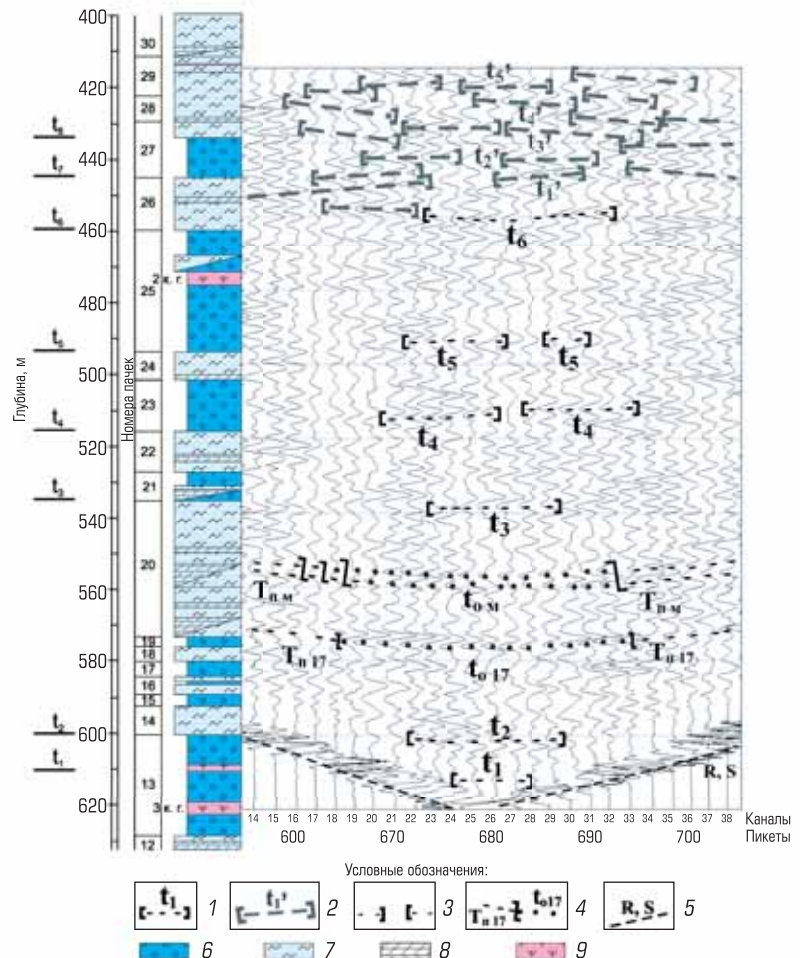
Ниже на примере сейсмических исследований особенностей формирования полей отраженных волн в соленосной толще и на границе контактов отложений соленосной и глинисто-мергелистой толщ шахтного поля Краснослободского рудника РУ-2 показаны сейсмогеологическая модель соленосного разреза по геологическим данным скважины наземного бурения № 1к, начиная от Третьего калийного горизонта (соляная пачка № 13) до пород ГМТ, и интерпретация полученных сейсмических записей с их увязкой с литологическими границами (рис. 1).

Согласно разрезу по геологической скважине № 1к, соленосная толща мощностью около 185 м над Третьим калийным горизонтом представлена соляными и глинисто-карбонатными пачками. Соленосная среда представляет собой чередование сравнительно тонких слоев с повышенными и пониженными скоростями распространения упругих волн. Значения скоростей в тонких слоях соли  $V_{p, c}$  по данным натурных наблюдений в нормальных геологических условиях, достаточно высоки и изменяются от 4500 до 5500 м/с и выше. Глинистые отложения, по данным лабораторных измерений, характеризуются пониженными величинами скоростей распространения упругих колебаний  $V_{p, гл} \approx 3500$  м/с. На границах литологических переходов «глина—соль» наблюдается образование отраженных  $t$  и преломленных  $T$  волн; на границах «соль—глина» — только отраженных волн.

Годографы (графики зависимости времени прихода сейсмической волны от координат точек наблюдения и возбуждения [2]) отраженных волн, полученные на сейсмических записях, имеют литологическую привязку к основным контактам соляных и глинистых пачек, характеризуют состояние и поведение границ в соленосной толще на границе контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ и регистрируются симметрично относительно пунктов возбуждения упругих колебаний на расстояниях до 20 м. Далее наблюдаются выходы

преломленных волн, ветви годографов которых параллельны между собой и характеризуются значениями кажущихся скоростей  $V_k$  от 4000 до 5800 м/с.

На сейсмической записи волнового поля, сформированного в верхнем полупространстве, при возбуждении упругих колебаний в кровлю выработки отмечаются прямые  $P$ ,  $S$ , поверхностные  $R$ , отраженные ( $t_1 \dots t_6$ ,  $t_{0, 17}$  и  $t_{0, м}$ ) и преломленные ( $T_{п, 17}$ ;  $T_{п, м}$ ) волны, образованные на сейсмических границах плоскостного разреза, а также ряд отраженных ( $t'_1 \dots t'_n$ ) волн от наклонных отражающих элементов. Рассмотрению подвергнуты отраженные ( $t_1 \dots t_6$ ,  $t_{0, 17}$ ,  $t_{0, м}$ ,  $t'_1 \dots t'_n$ ) и преломленные ( $T_{п, 17}$ ;  $T_{п, м}$ ) волны. Отраженные волны ( $t_1 \dots t_6$ ) образованы в соленосных отложениях верхнего полупространства на одноименных сейсмических границах.



**Рис. 1. Сейсмогеологическая модель соленосного разреза с интерпретацией сейсмических записей и их увязкой с литологическими границами отложений (шахтное поле Краснослободского рудника РУ-2, Старобинское месторождение калийных солей):**

1 — годографы отраженных волн; 2 — годографы от наклонных сейсмических границ; 3 — перерывы в прослеживании сейсмических границ; 4 — участки смены годографов отраженных и преломленных волн; 5 — область прослеживания поверхностных и поперечных волн; 6 — соль; 7 — глина; 8 — мергель; 9 — сивинит

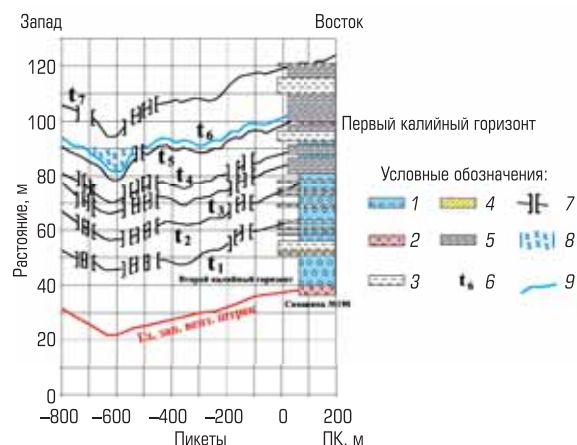
Сейсмическая граница  $t_1$  приурочена к одному из литологических переходов «глина–соль», залегающему в 13-й пачке. Отраженная волна  $t_1$  представлена в виде однофазного колебания повышенной амплитуды и частотой  $\approx 1300 \text{ с}^{-1}$ . Сейсмические границы  $t_2$  и  $t_3$  относятся к отложениям 14-й и 20-й пачек. Частоты волн, образованных на этих границах, составляют, соответственно,  $\approx 570$  и  $\approx 520 \text{ с}^{-1}$ . Между сейсмическими границами  $t_2$  и  $t_3$  выделяются устойчивые в прослеживании отраженные волны  $t_{017}$ ,  $t_{0M}$  и преломленные волны  $T_{п17}$ ,  $T_{пM}$ , относящиеся к 17-й соляной пачке и тонким слоям мергеля, залегающим в 20-й глинистой пачке. Частоты колебаний отраженных волн на границах  $t_{017}$  и  $t_{0M}$ , составляют, соответственно,  $\approx 650$  и  $430 \text{ с}^{-1}$ . Волну  $t_{0M}$  следует рассматривать как интерференционную, состоящую, как минимум, из двух отражений от слоев мергеля. Сейсмическая граница  $t_4$  приурочена к контакту 22-й и 23-й пачек. Образованная от нее отраженная волна представлена одно-двухфазным колебанием с частотой  $\approx 500 \text{ с}^{-1}$ . Сейсмическая граница  $t_5$  относится к контакту 24-й и 25-й пачек. Образованные на этой границе волны  $t_5$  характеризуются слабой по интенсивности сейсмической записью колебаний с частотой  $\approx 650 \text{ с}^{-1}$ . Сейсмической границей  $t_6$  является контакт 25-й и 26-й пачек. Образованная на ней волна  $t_6$  хорошо прослеживается по профилю исследований, хотя выделяется слабой по интенсивности сейсмической записью с частотой колебаний  $\approx 400 \text{ с}^{-1}$ . Отраженная волна  $t_6$  позволяет контролировать поведение Второго калийного горизонта.

Сейсмическими границами могут также являться контакты 27-й и 28-й глинистых пачек. Отраженные волны  $t_7$  и  $t_8$  выделяются фрагментами по участку исследований и чаще всего находятся в области большого числа наклонных отражающих элементов на границе контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ. Выделение их на сейсмограммах крайне затруднительно. Образованные на этих границах волны интерферируют между собой, а также с рядом малоинтенсивных, прослеживаемых на небольшие расстояния отраженных волн от остатков соляных отложений, находящихся в нижней части ГМТ. Отраженные волны  $t_{017}$ ,  $t_3$  и  $t_4$  представляют интерес при изучении свойств нижней части водозащитной толщи, позволяют контролировать залегание пород от 13-й до 23-й пачки включительно и выделять геологически осложненные участки их залегания над Третьим калийным горизонтом.

Контакт соленосной и глинисто-мергелистой толщ выделяется наличием большого числа наклонных отражающих элементов с отличительными значениями кажущихся скоростей от сейсмических волн, зарегистрированных в отражающей плоскостной среде. Появление в волновом поле отражений от наклонных сейсмических границ связано с развитием трещиноватости верхней части соленосных отложений и с участками ее выщелачивания. Подобная особенность волнового поля отраженных волн характерна для зоны несогласного залегания соленосной и глинисто-мергелистой толщ [3–5]. Присутствие волн подобного рода на сейсмограммах является одним из критериев выделения собственно контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ, который является нечетким и может мигрировать по глубине от 2 до 15 м относительно принятой геологической границы.

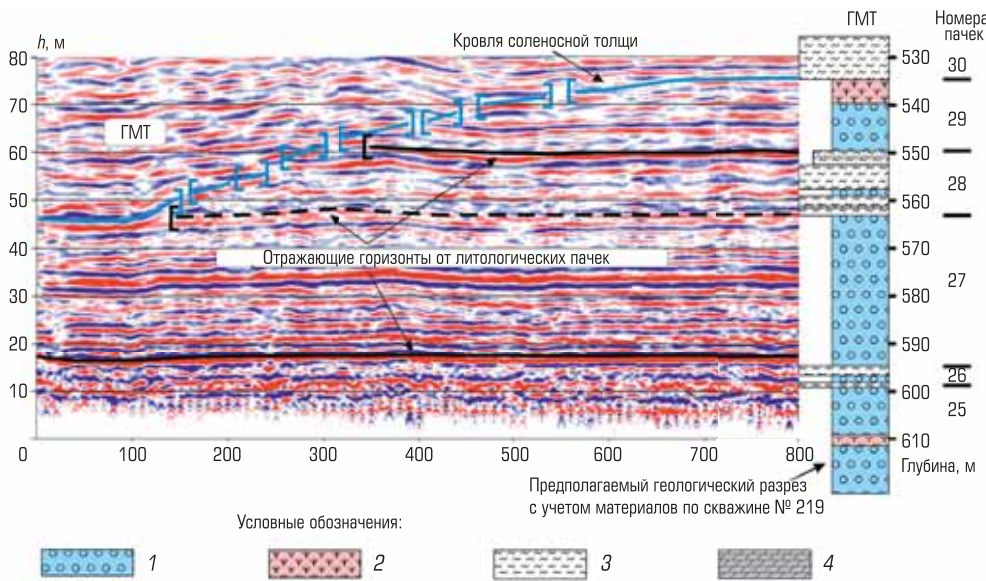
Особое внимание при изучении контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ обращали на наличие синклиналий погружений в кровле соленосных отложений, которые могут являться потенциальными коллекторами рассолов. Геофизические исследования поведения кровли соленосной толщи по главному западному вентиляционному штреку Второго калийного горизонта рудника РУ-4 проводили методами сейсморазведки (МОВ и корреляционным методом преломленных волн) и электроразведки (ВЗЗ и ЭП) с целью изучения строения геологического разреза покрывающих отложений, морфологии границы контакта пород соляной и глинисто-мергелистой толщ, установления наличия или отсутствия скопления рассолов в нижней части ГМТ. Профиль наблюдения (рис. 2) пересекает шахтное поле с запада на восток и находится приблизительно в 200 м восточнее Центрального тектонического нарушения с амплитудой смещения  $\sim 100$ – $150$  м, ограничивающего шахтное поле РУ-4 с запада и прослеживающегося с юго-запада на северо-восток. Восточной границей шахтного поля РУ-4 является граница горного отвода.

По материалам интерпретации данных сейсмических работ выделено шесть отражающих границ ( $t_1 \dots t_6$ ). Отраженные волны  $t_1 \dots t_4$  приурочены к переходам «глина–соль», лежащим в мощной пачке соленосных отложений. Отражающие границы  $t_5$  и  $t_6$  относятся к кровле соли и Первому калийному горизонту. Они интерферируют между собой, что осложняет, а в ряде случаев исключает их разделение. Отражающая граница  $t_7$  приурочена к границам литологических переходов «глина–мергель–известняк» и др., контролируя поведение нижней части ГМТ. Конфигурация ее рельефа повторяет формы изменения отражающих границ соляного комплекса ( $t_1 \dots t_6$ ).



**Рис. 2. Геофизические исследования строения покрывающих отложений, морфологии границ контактов и возможных скоплений рассолов методами сейсмо- и электроразведки (участок шахтного поля калийного рудника РУ-4):**

1 — каменная соль; 2 — силвинит; 3 — глина;  
4 — песчаник; 5 — мергель; 6 — отражающие границы;  
7 — перерывы в прослеживании сейсмических границ;  
8 — участок рассолонасыщенных пород (по данным электроразведки); 9 — кровля соленосной толщи



**Рис. 3. Пример построения глубинного геологического разреза по данным сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) для оценки залегания и состояния кровли соленосной толщи (вентиляционный шрек 22-й южной панели РУ-4):**

1 — каменная соль; 2 — сильвинит; 3 — глина; 4 — мергель

Относительная параллельность залегания преломляющих и отражающих границ характеризует поведение структурного плана соляного разреза как спокойное; отмечается общее погружение к ПК -620 с амплитудой по кровле соли до 19 м. На фоне общего синклинального погружения по отражающим границам  $t_5$  и  $t_6$  отмечается локальная зона синклинального прогиба от ПК -540 до ПК -680 с центром на ПК -620 (с амплитудой до 6 м).

Анализ сейсмических записей отраженных волн позволил выделить ряд нарушений, которые прослеживаются в пределах пикетов -740 ... -690; -580 ... -450 и -190 ... -110 (см. рис. 2). Исходя из разработанных геофизических моделей, выделенные участки представляются в виде разрывных безамплитудных нарушений, близких к вертикальным поверхностям разрывов и являющихся результатом действия тектонических процессов. Эти участки могут являться путями проникновения рассолов в горные выработки.

Количественная и качественная интерпретация кривых ВЗЗ и ЭП позволила выделить высокоомные породы, залегающие вверх по разрезу на глубинах до 80 м. Верхней границей распространения высокоомных пород является граница контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ. Исключение составляет зона синклинального погружения (ПК -750 ... -500), где пониженные значения кажущихся удельных электрических сопротивлений указывают на вероятность ее заполнения рассолонасыщенными породами [4-6]. Буровые работы, проведенные в районе 11-й южной панели РУ-4 с целью заверки выявленных геофизических аномалий, подтвердили наличие рассолов выщелачивания на границах контакта ГМТ и соленосных отложений.

В последнее время достаточно хорошо зарекомендовало себя применение подземного МОГТ для изучения залегания и состояния кровли соленосной толщи, особенно в краевых частях место-

рождения. Особенностью применения МОГТ в шахтных условиях является необходимость проведения опытно-методических работ для разделения сейсмических волн из различных полупространств, так как на получаемых глубинных разрезах возможно присутствие волн как верхнего, так и нижнего полупространств, что осложняет геологическую интерпретацию полученных результатов. На глубинном разрезе, полученном при проведении исследований по вентиляционному штреку 22-й южной панели РУ-4 (рис. 3), показан отрезок профиля сейсмических исследований, где кровля соленосной толщи резко погружается с 75 до 45 м в сторону вентиляционного штрека; амплитуда погружения составляет 30 м. Наличие перерывов корреляции в прослеживании отражающего горизонта, характеризуемого как граница контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ на крыле складки, позволяет утверждать о наличии трещиноватых и выщелоченных пород в данной части геологического разреза. Проведение электроразведочных работ методами ВЗЗ и ЭП не выявило низкоомных аномалий на границе контакта соленосной и глинисто-мергелистой толщ, однако несколько пониженные значения сопротивлений показывают возможное присутствие небольшого количества отжимных рассолов в нижней части ГМТ, что не представляет опасности для ведения горных работ.

Таким образом, по результатам многолетних исследований разработаны сейсмогеологические модели строения соленосной толщи над калийными горизонтами; определены критерии выделения контактов соленосной и глинисто-мергелистой толщ; доказана возможность с достаточной степенью точности определять мощность соленосных отложений методами шахтной сейсморазведки из подземных горных выработок на участках проведения исследований, а также выявлять участки разрывных нарушений в соленосной толще, которые могут быть зонами проникновения рассолов в горные выработки. Обоснована и практически подтверждена возможность выявления методами подземной сейсморазведки и электроразведки участков синклинальных погружений в кровле соленосной толщи и зон скопления рассолов, поступающих из нижней части ГМТ.

Изучение и оценка состояния водозащитной толщи шахтными геофизическими методами является актуальной и необходимой задачей для всех рудников ОАО «Беларуськалий», определяющей комплекс технико-технологических способов и мероприятий по их защите от затопления.



## Библиографический список

1. Лаптев Б. В. Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 8. С. 28–30.
2. Гурвич И. И., Боганик Г. Н. Сейсмическая разведка. — Москва : Недра. 1980. — 551 с.
3. Вагин В. Б. Шахтные сейсмические методы изучения строения массивов соляных пород. — Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. — 188 с.
4. Вагин В. Б., Андрейко С. С., Ефимов А. М. Изучение геологического строения соляной и нижней части глинисто-мергелистой толщ методами шахтной сейсморазведки на II калийном горизонте рудника 4 РУ ПО «Беларуськалий» / Калийные соли Беларуси: состояние освоения месторождений, перспективы развития, проблемы // Тез. докл. Междунар. науч.-практич. конф., посвященной 50-летию открытия Старобинского месторождения калийных солей в Беларуси, 20–21 декабря 1999 года. — Минск : БелНИГРИ, 1999. С. 103–105.
5. Андрейко С. С., Вагин В. Б., Мусалев Д. Н., Ефимов А. М., Кадол В. М. Изучение геологического строения покрывающей толщи пород в зоне локального понижения на Втором горизонте рудника 4 РУ шахтными сейсмическими методами / Материалы Второй Междунар. науч.-технич. конф. 20–24 октября 1997 г., Республика Беларусь, Солигорск. — Минск, 1997. С. 132–133.
6. Вагин В. Б., Мусалев Д. Н., Ефимов А. М., Прохоров Н. Н., Невельсон И. С. Применение геофизических методов в горных выработках Старобинского месторождения калийных солей при поисках и картировании малоамплитудных нарушений разрывного типа // Маркшейдерия и недропользование. 2004. № 1. С. 47–49. [ГЖ](#)

Вагин Валерий Борисович,  
e-mail: geof@belgorhimprom.by  
Ефимов Александр Михайлович,  
e-mail: alex246032@yandex.ru  
Кулагов Евгений Викторович,  
e-mail: evgenyk@tut.by

## RESEARCH AND ASSESSMENT OF STATUS OF WATERPROOF STRATA OVER POTASSIUM HORIZONS BY GEOPHYSICAL METHODS

Vagin V. B.<sup>1</sup>, Leading Researcher, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, e-mail: geof@belgorhimprom.by

Efimov A. M.<sup>1</sup>, Researcher

Kulagov E. V.<sup>1</sup>, Second Category Engineer

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

Sufficient thickness of waterproof strata, together with its ability to prevent the brines' entering into excavations as a result of mining of potassium-bearing horizons, are one of safety mining conditions during the development of salt mines. Clayey-marly strata, covering the salt-bearing deposits, is one of possible sources of brines into excavations during the deposits' development.

Salt-bearing strata at Starobinsky potassium salts deposit is the main component of waterproof strata. That's why, the attention is paid to the study of its thickness and state:

- presence of synclinal dipping in the roof of salt-bearing strata, which may be the brines' accumulation areas, coming from the bottom of the clayey-marly strata;
- presence of discontinuous faults, which may be the ways of brines' entering into excavations.

Research and assessment of waterproof strata are the urgent tasks for the whole management board of "Belaruskali" JSC for flood protection of mines.

Underground geophysical researches are one of the ways of solving of these problems. A set of geophysical methods was developed for research of the state of waterproof strata at Starobinsky potassium salts deposit.

The following abilities were theoretically grounded and practically confirmed, according to the data, obtained by methods of underground seismic and electrical survey;

- ability to define the thickness of salt-bearing sediments from underground excavations in the research areas with significant degree of accuracy;
- ability to identify the areas of synclinal dip in the roof of salt-bearing strata and sections of faults, which may be the areas of brines' entering into excavations.

**Key words:** potassium mines, waterproof strata, clayey-marly strata, brine-saturated rocks, synclinal dip, mine geophysical researches, seismic survey, electric survey, interpretation of geophysical data, estimation of water hazard.

## REFERENCES

1. Laptev B. V. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Labor Safety in Industry*, 2009, No. 8, pp. 28–30.
2. Gurvich I. I., Bogani G. N. *Seismicheskaya razvedka* (Seismic survey). Moscow : Nedra, 1980, 551 p.
3. Vagin V. B. *Shakhtnye seismicheskie metody izucheniya stroeniya massivov solyanykh porod* (Shaft seismic methods of research of salt rock massifs' structure). Minsk : Belorussian Scientific-Research Center «Ekologiya», 2010, 188 p.
4. Vagin V. B., Andreyko S. S., Efimov A. M. *Izuchenie geologicheskogo stroeniya solyanoy i nizhney chasti glinisto-mergelistoy tolshch metodami shakhtnoy seysmorazvedki na II kaliynom horizonte rudnika 4 Rudoupravleniya Proizvodstvennogo Obedineniya «Belaruskali»* (Research of geological structure of salt and bottom part of clayey-marly strata by methods of shaft seismic survey at the II potassium horizon of mine of the 4 Mine group of "Belaruskali" JSC). *Kaliynye soli Belarusi: sostoyanie osvoeniya mestorozhdeniy, perspektivy razvitiya, problemy* (Belorussian potassium salts: status of mastering of deposits, development prospects, problems). *Tezis doklada Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pyatidesyatiletiyu otkrytiya Starobinskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley v Belarusi. 20–21 dekabrya 1999 goda*. Belorusskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Geologorazvedochnyy Institut (Thesis of report of International scientific-practical conference, devoted to the 50-th anniversary of discovering of Starobinsky potassium salts deposit in Belarus. December 20–21, 1999. Belorussian Scientific-Research Geological Prospecting Institute). Minsk, 1999, pp. 103–105.
5. Andreyko S. S., Vagin V. B., Musalev D. N., Efimov A. M., Kadol V. M. *Izuchenie geologicheskogo stroeniya pokryvayushchey tolshchi porod v zone lokalnogo ponizheniya na Vtorom horizonte rudnika 4 Rudoupravleniya shakhtnymi seysmicheskimi metodami* (Research of geological structure of superincumbent rock in local decreasing area at the second horizon of mine of the 4 Mine group by shaft seismic methods). *Materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii 20–24 oktyabrya 1997 goda* (Materials of the Second International scientific-technical conference. October 20–24, 1997). Republic of Belarus : Soligorsk, Minsk, 1997, pp. 132–133.
6. Vagin V. B., Musalev D. N., Efimov A. M., Prokhorov N. N., Nevelson I. S. *Marksheyderiya i nedropolzovanie – Mine surveying and subsurface use*, 2004, No. 1, pp. 47–49.