

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.83.04

DOI:10.7242/echo.2021.3.8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ИСТОЧНИКА УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ТИПА СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ

А.И. Бабкин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований направленности источника упругих колебаний с приложением силы в кровлю и бок горной выработки. Наблюдения проведены в информативно значимых для горного производства вертикальной плоскости XZ и горизонтальной XU . Полевые сейсмоакустические данные получены с использованием многоканальной трехкомпонентной записи с расположением элементов систем наблюдений на двух уровнях глубин в параллельных горных выработках, а также в разнесенных по латерали параллельных и ортогональных парах штреков в пределах одного продуктивного пласта. На основании измеренных амплитуд приходящих к точкам наблюдений продольных и поперечных волн в плоскостях XZ и XU построены диаграммы направленности источника типа сосредоточенной силы. На основании полученных данных проведена оценка информативности шахтной сейсморазведки при наблюдениях в вертикальной и горизонтальной плоскостях в условиях возможной регистрации отраженных волн нецелевого направления.

Ключевые слова: Характеристики направленности источника упругих колебаний; многоволновая сейсмоакустика; трехкомпонентная сейсмическая запись; продольные волны; поперечные волны; амплитуда сейсмической записи.

При проведении сейсмических наблюдений в горных выработках регистрируются волновые поля, представляющие собой интерференцию достаточно большого количества разнородных и разнотипных сейсмических сигналов. Среди них присутствуют как целевые отраженные волны продольного (P) и поперечного (S) типов, образованные на акустических границах исследуемой области породного массива, так и регулярные волны-помехи, сформированные на горнотехнических элементах разрабатываемых пластов [1-4]. Большинство этих помех устраняются пространственной фильтрацией в процессе цифровой обработки за счет значимых отличий их кажущихся скоростей и спектральных характеристик [5]. В то же время, используя специально разработанные графы цифровой обработки, производится разделение на продольную и поперечную составляющие волнового поля, что позволяет проводить исследования в рамках многоволновой сейсморазведки [6]. Это расширяет интерпретационные возможности шахтных сейсмоакустических наблюдений и позволяет переходить на прогнозные оценки физико-механических свойств породного массива.

Наибольшее негативное влияние на информативность сейсмических методов в условиях горных выработок могут оказывать отраженные волны, приходящие к линии наблюдений не в плоскости исследований. При изучении вышезалегающих пород водозащитной толщи к таким регулярным помехам относятся боковые отражения от соседних выработок. При наблюдениях в горизонтальной плоскости – отражения от выше- и ниже-залегающих акустических границ. Естественно, интенсивность этих волн-помех зависит от фактической направленности источников колебаний.

Направленность источников упругих волн в горных выработках ранее изучалась рядом коллективов [2, 7-9]. Применительно к условиям горных выработок калийных руд-

ников нами ранее выполнен ряд полевых экспериментов с использованием многокомпонентной записи, по результатам которых для перпендикулярной направлению выработки вертикальной плоскости YZ определены фактические характеристики направленности источников типа сосредоточенной силы, действующей в бок выработки [10].

В продолжении этих работ [10] проведены натурные экспериментальные исследования по оценке направленности ударных источников упругих колебаний с приложением силы в двух информационно значимых для горного производства плоскостях исследований: XZ и XY . Для этого реализованы две системы сбора сейсмоакустических данных.

1. На уровне отработки двух продуктивных пластов (пл. Кр. II – -178 м. и пл. АБ – -171 м.) в разнесенных по латерали горных выработках на примыкающих к бортам участках почвы установлены трехкомпонентные геофоны (рис. 1). На каждой линии приема с шагом 2 метра располагалось по 42 пункта приема. Возбуждения упругих колебаний источником сосредоточенной силы в северный бок (F_y) и кровлю (F_z) выработки.

2. На уровне пласта АБ (-178 м.) по взаимно перпендикулярным штрекам (рис. 2). Возле смежного к пунктам возбуждения борта горной выработки широтного простирания на почве располагались трехкомпонентные геофоны с шагом 2 метра. С учетом трехкомпонентной записи в регистрации задействовано 192 активных канала. Возбуждения упругих колебаний источником сосредоточенной силы в восточный борт и кровлю выработки меридионального простирания с шагом пунктов возбуждения 20 метров.

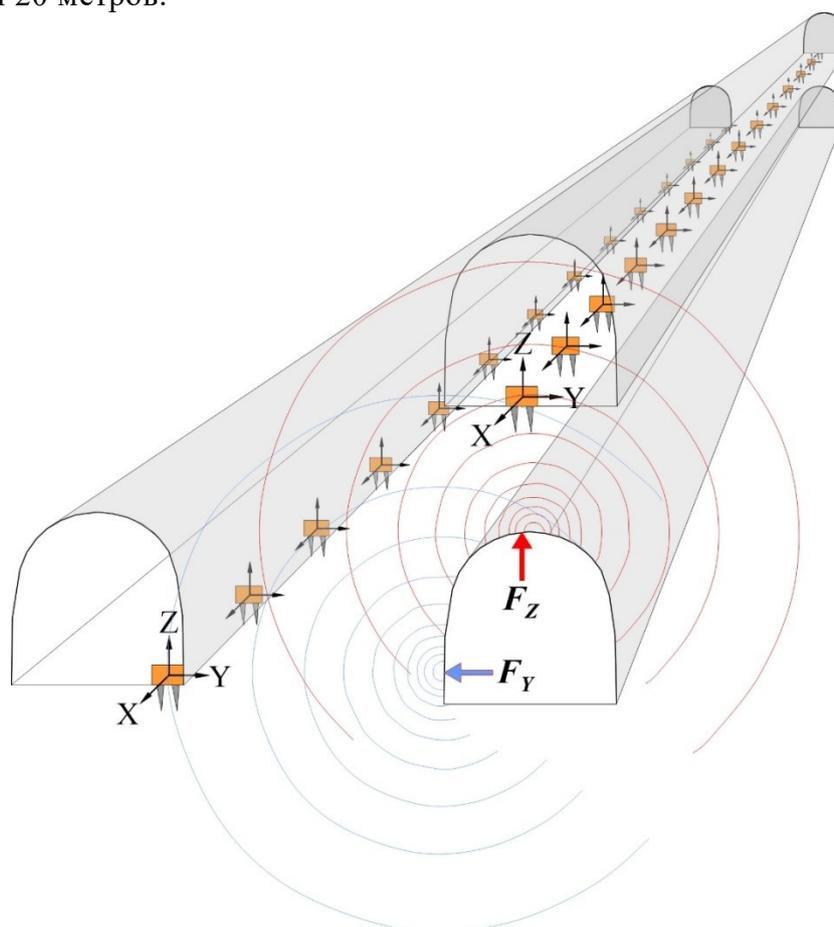


Рис. 1. Схема пространственного расположения элементов системы наблюдений при регистрации упругих волн на двух уровнях (пл. Кр II и пл. АБ)

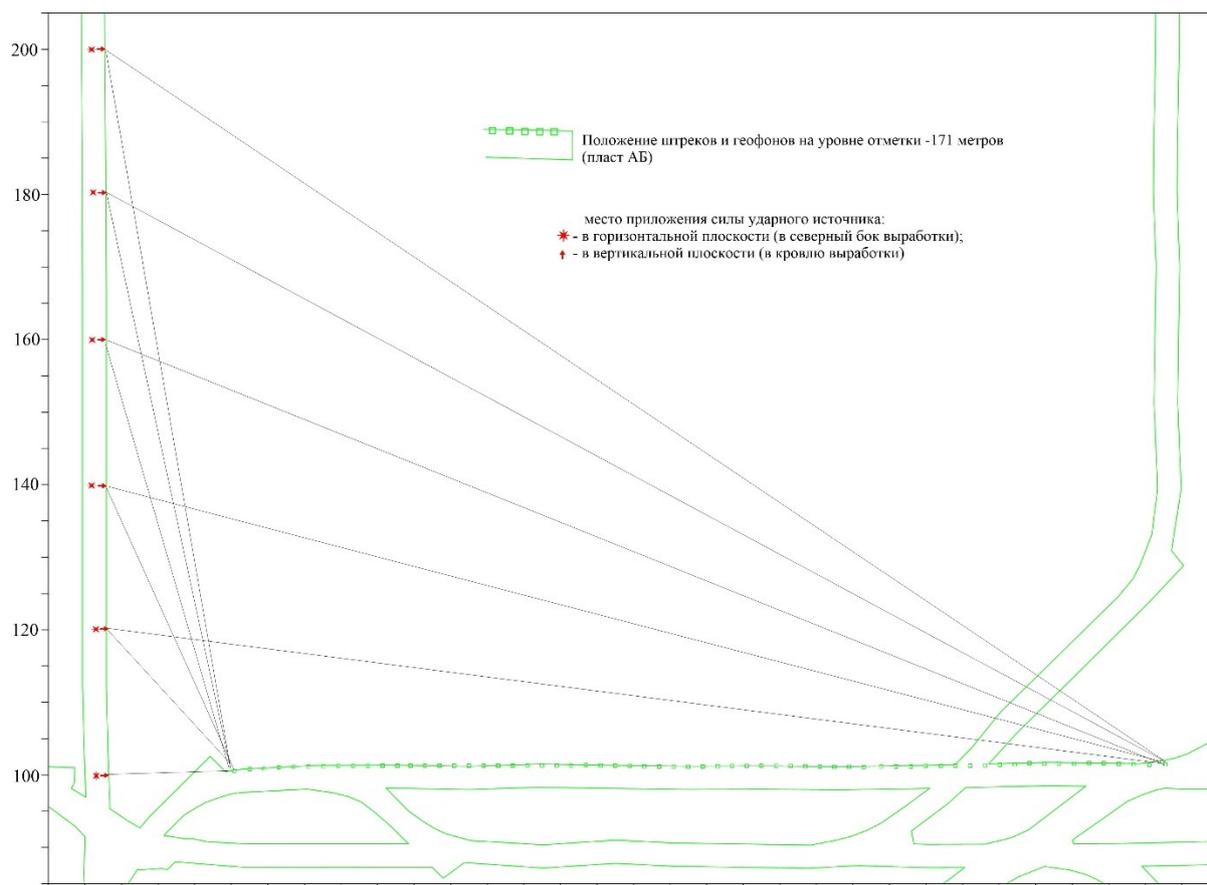


Рис. 2. Схема пространственного расположения элементов системы наблюдений при регистрации упругих волн в ортогональных выработках в пределах одного продуктивного пласта (пл.АБ)

В результате проведенных полевых наблюдений получены массивы данных для дальнейшей цифровой обработки и анализа амплитуд объемных сейсмических волн продольного и поперечного типов, распространяющихся в разных азимутальных направлениях относительно источника колебаний. Поляризация сдвиговых волн определяется направлением ударного воздействия: для приложения силы в бок штрека (F_y) – горизонтальная SH -поляризация; при воздействии в кровлю (F_z) – вертикальная SV -поляризация. Регистрация сейсмических волновых полей с представленными на схемах пространственными положениями элементов системы наблюдений обеспечивает возможность измерения амплитуд сейсмической записи, соответствующей упругим деформациям объема (P -волны) и двух векторов сдвиговых деформаций (SV - и SH -волны) в двух плоскостях: XZ и XY .

Для оценки направленности приложенной силы F_y в горизонтальной плоскости XY использованы сейсмические трассы (рис. 3), зарегистрированные в горной выработке, расположенной севернее пункта возбуждения. На рисунке представлены исходные сейсмограммы (рис. 3а, в, д), а также с амплитудным выравниванием сигналов (рис. 3б, г, е). Амплитудная регулировка проведена только для контроля трассирования анализируемых волн в условиях уменьшения амплитуд за счет геометрического расхождения с увеличением расстояния от источника. Для построения диаграмм направленности использованы исходные сигналы. Учет геометрического расхождения выполнен поправочным коэффициентом, учиты-

вающим обратно пропорциональное расстоянию от источника изменение значений амплитуд [7].

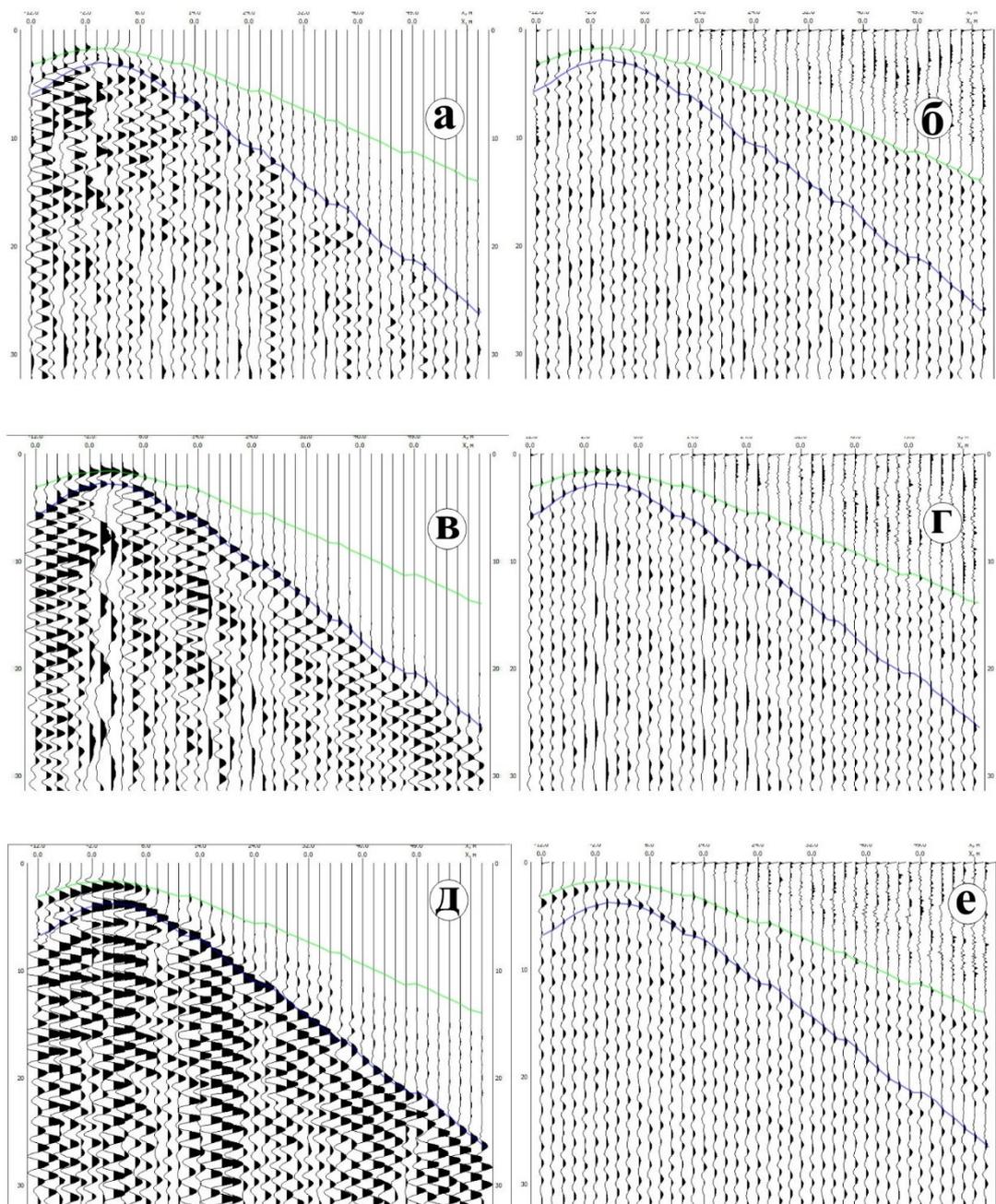


Рис. 3. Пример полученной трехкомпонентной записи (воздействие F_y , регистрация в северной выработке): исходная (а) и с автоматической регулировкой уровня амплитуд (б) для X-, Y- (в, г) и Z-составляющих (д, е) волнового поля

Для вертикальной плоскости XZ использованы сейсмические сигналы, зарегистрированные в вышерасположенной выработке и представляющие собой такие же сейсмограммы трех векторов смещения. Аналогичные многоканальные трехкомпонентные данные получены и для источника приложенной силы, действующей в направлении кровли выработки (F_z).

В итоге по измеренным значениям амплитуд многокомпонентной записи построены диаграммы направленности волн продольного и поперечного типов (рис. 4).

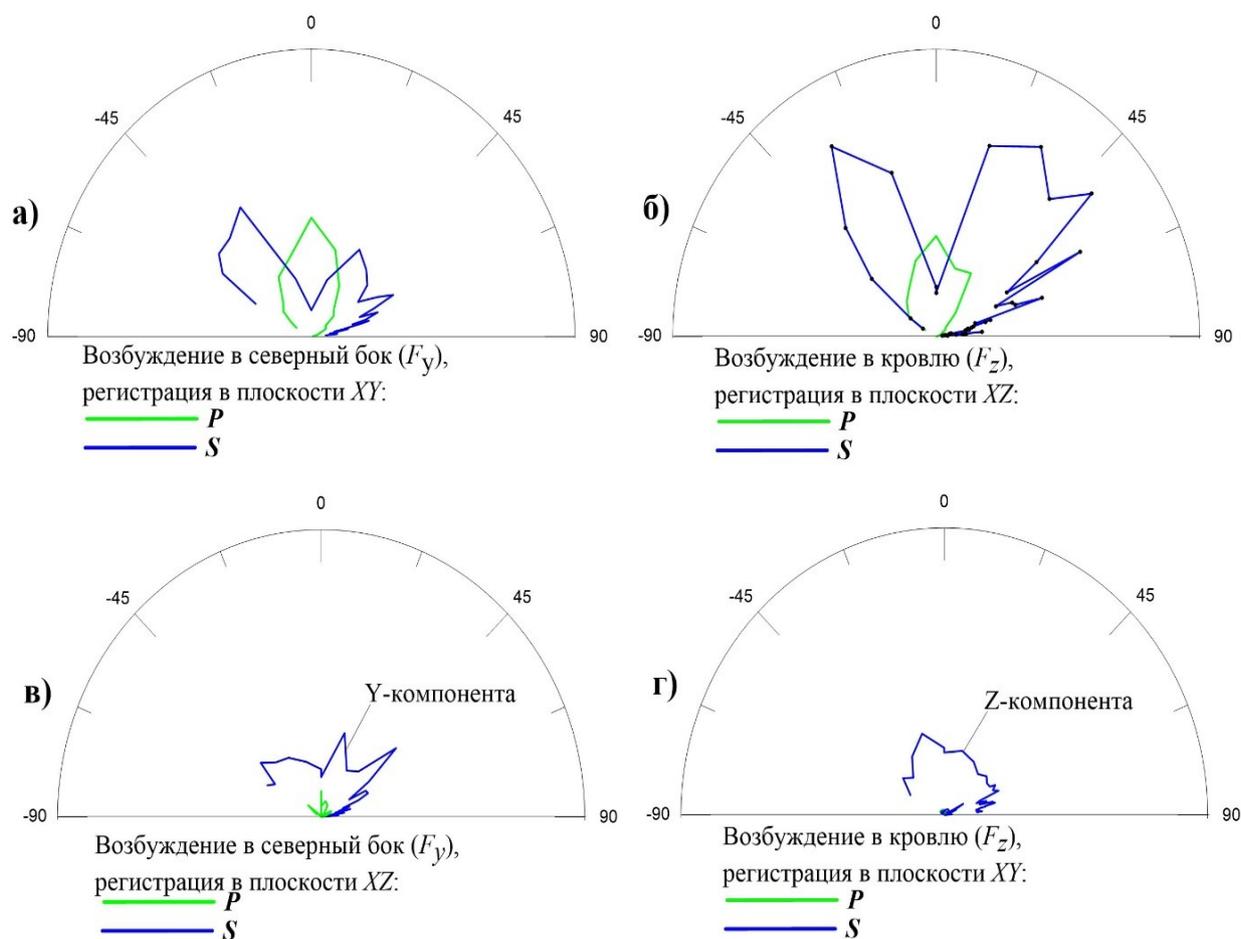


Рис. 4. Диаграммы направленности сосредоточенных сил, действующих в горизонтальном (F_y) и вертикальном (F_z) направлениях: а, б – совпадающих с плоскостями исследований; в, г – приложенных по нормали к ним

Для совпадающих действию силы плоскостей (рис. 4а, б) значения амплитуд P - и S -волн на диаграммах направленности определены как полный вектор скорости смещения частиц соответствующих плоскости компонентов. А для перпендикулярных действию силы плоскостей (рис. 4в, г) все три компоненты представлены по отдельности. Энергетически значимыми в данном случае являются только сдвиговые волны совпадающей с действием силы поляризации.

Методически аналогичные результаты получены и при реализации натуральных наблюдений с применением второй системы сбора данных – ортогональное расположение источников и приемников при соизмеримых с максимальной глубиной целевых интервалов удалениях.

На основании полученных результатов следуют методически важные выводы:

- на характеристики направленности при наблюдениях в горных выработках с применением источников возбуждения упругих колебаний типа сосредоточенной силы оказывает влияние сама выработка, прилегающие к ней нарушенные породы, пространственное положение точки возбуждения относительно контура выработки;

- выдержанной направленностью, совпадающей с действием вектора приложенной силы обладают только продольные волны, что определяет их в качестве основного носителя информации при изучении породного массива сейсмоакустическими методами в горных выработках;

– при реализации многоволновых исследований с использованием волн поперечного типа следует учитывать возможную регистрацию отраженных сдвиговых волн, пришедших не в плоскости наблюдений. Наибольшее негативное влияние на информативность получаемых результатов при исследованиях в горизонтальной плоскости оказывают отраженные в верхнем и нижнем полупространствах SH -волны.

Для выработки алгоритма минимизации влияния пришедших не в плоскости исследований отраженных SH -волн при наблюдениях в горизонтальной плоскости проведены опытно-методические работы, согласно которым для условий тонкослоистого разреза определены значимые различия в спектральных и скоростных параметрах поперечных волн SH -поляризации, распространяющихся в исследуемой горизонтальной и нецелевой вертикальной плоскостях [11]. Основными из них являются: существенное снижение частотного состава сдвиговых SH -волн, распространяющихся в перпендикулярном напластованию направлении. Для этих же волн отмечается снижение скорости на величину порядка 5-10% от значений распространяющихся в горизонтальной плоскости SH -волн. Эти различия позволили разработать граф цифровой обработки для их успешного подавления.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-45-596030)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
2. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки. – Донецк: Алан, 2003. – 312 с.
3. Вагин В. Б. Шахтные сейсмические методы изучения строения массивов соляных пород. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2010. – 186 с.
4. Кулагов Е.В. Особенности сейсмических волн, возбуждаемых в массиве соляных пород на Старобинском месторождении // Літасфера. – 2012. – № 2.
5. Санфиоров И. А., Жикин А. А., Ярославцев А. Г., Бабкин А. И. Техногенные артефакты в результатах сейсморазведочных исследований урбанизированных и горнотехнических объектов // Геофизика. – 2019. – № 5. – С. 4-12.
6. Санфиоров И.А., Бабкин А.И., Сальников А.П. Контроль состояния горного массива методами многоволновой шахтной сейсморазведки // Горн. вестн. – 1998. – №6. – С. 94-99.
7. Ruzayev N.N. Methods and objects of seismic investigations. Introduction to general seismology. – Novosibirsk: Geo, 2004. – 281 p.
8. Пузырев Н.Н., Бобров Б.А., Гик Л.Д., Тригубов А.В. Исследование направленности источников поперечных сейсмических волн средствами физического моделирования // Геология и геофизика. – 1985. – Т. 26, № 5. – С. 66-75.
9. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Ященко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. – М.: Недра, 1969. – 239 с.: ил.
10. Бабкин А.И. Изучение закономерностей формирования и распространения объемных сейсмических волн в породном массиве по данным трехкомпонентной записи в горных выработках // Горное эхо. – 2020. – № 4 (81). – С. 57-63. – DOI: 10.7242/echo.2020.4.12.
11. Babkin A.I., Sanfirov I.A. Localization of the borehole within the safety pillars of a potash mine productive layers using seismic acoustic CDP profiling in the horizontal plane // 17th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2021. – Gelendzhik, 2021. – Код 171372. – DOI: [10.3997/2214-4609.202152156](https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152156).