

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт геологии и нефтегазовых технологий

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА
ЧАСТЬ 1. ГЕОРАДАРНАЯ СЪЕМКА
И АРХЕОМАГНИТОРАЗВЕДКА

Б.М. Насыртдинов, Л.А. Фаттахова, Д.И. Хасанов

Учебно–методическое пособие

КАЗАНЬ
2025

УДК 550.3

ББК 26.2

Н31

Печатается по решению учебно-методической комиссии

института геологии и нефтегазовых технологий

Протокол № 6 от 17 января 2025 года

Рецензенты:

Старший преподаватель кафедры геофизики и геоинформационных технологий

КФУ Ситдиков Р.Н.

Старший преподаватель кафедры математических методов в геологии КФУ

Харисов А.Г.

Н31 Инженерная геофизика. Часть 1. Георадарная съемка и археомагниторазведка: учебно-методическое пособие / Б.М. Насыртдинов, Л.А. Фаттахова, Д.И. Хасанов. – Казань: Казанский федеральный университет, 2025. – 42 с. В данной части учебно-методического пособия представлены краткие теоретические основы и практические задачи по курсу «Инженерная геофизика», принципы основных методов инженерно-геофизических исследований. Настоящее пособие предназначено для студентов геологических специальностей высших учебных заведений при изучении дисциплины «Инженерная геофизика», а также для научных работников, аспирантов и магистров, специализирующихся в области геологии.

УДК 550.3

ББК 26.2

© Насыртдинов Б.М., Фаттахова Л.А., Хасанов Д.И.

© Казанский федеральный университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Георадарная съемка при решении задач археологии.....	6
1.1 Интерпретация полученных результатов.....	7
1.2 Задание 1.....	10
1.3 Вопросы для самоконтроля.....	10
2 Археомагниторазведка.....	11
2.1 Ввод поправок за вариации магнитного поля.....	12
2.2 Спокойные солнечно-суточные вариации.....	13
2.3 Интерпретация полученных результатов.....	14
2.4 Качественная и количественная интерпретация выявленных аномалий.....	15
2.5 Задание 2.....	17
2.6 Вопросы для самоконтроля.....	20
3 Литература.....	21
4 Приложение.....	22

ВВЕДЕНИЕ

Инженерная геофизика – направление разведочной (прикладной) геофизики, изучающее геолого-геофизическое строение и физические свойства верхней части геологического разреза в связи с хозяйственной деятельностью человека [1, 2].

Решаемые задачи:

- изыскания для обоснования проектов строительства, способствующие успешному проведению самого строительства;
- наблюдения за работой законченных сооружений и взаимодействий их с окружающей средой;
- анализ влияния антропогенной нагрузки на геологическую среду;
- гидрогеологическая съемка разных масштабов;
- поиски и разведка термальных вод;
- поиск археологических объектов.

К геофизическим методам, используемым для изучения геологической среды, предъявляются специфические требования:

- обеспечение высокой детальности при сравнительно небольших глубинах изучения среды;
- использование мобильных малоглубинных методов и облегченных измерительных установок для ускорения, удешевления геофизических работ и возможности проведения повторных наблюдений (мониторинга полей);
- применение нескольких (до 3–4) геофизических методов различной физической природы для повышения точности получаемой информации;
- широкое использование буровых скважин и горных выработок, проходка которых несложна при небольших глубинах разведки.

При инженерно-геологических геофизических исследованиях, выполняемых на земной поверхности, в прибрежных зонах, на акваториях, в скважинах и горных выработках, используются различные малоглубинные методы. Можно применять комплекс из нескольких геофизических методов: электромагнитное профилирование методами

естественного поля (ЕП), кажущихся сопротивлений (КС); радиоволновые (РВП), электромагнитные зондирования (вертикальные электрические методом сопротивлений или вызванной поляризации (ВЭЗ или ВЭЗ-ВП), частотные (ЧЗ), становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), радиоволновые (РВЗ), радиолокационные), сейсмические методы (метод преломленных (МПВ) и метод отраженных (МОВ) волн), гравиметрические, магниторазведочные; ядерные (радиометрические) исследования, также используются данные аэрокосмических съемок [1, 2].

Инженерно-геологические геофизические съемки бывают средне-, крупномасштабными и детальными. При среднемасштабных съемках (1:200 000–1:100 000) можно использовать данные космических и воздушных радиотепловых (РТС) или инфракрасных (ИКС) и магнитных съемок. По ним намечаются детализационные или ключевые участки для дальнейших исследований. Крупномасштабное картирование (1:25 000–1:10 000) проводится либо на ключевых участках, либо в виде сплошной съемки комплексом геофизических методов. При наличии скважин выполняют сейсмоакустические и электрические исследования в них.

1. ГЕОРАДАРНАЯ СЪЕМКА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АРХЕОЛОГИИ

Метод георадиолокационного подповерхностного зондирования (в общепринятой терминологии – георадиолокация, в англоязычной литературе этот метод называется «Ground Penetrating Radar» или GPR) основан на изучении распространения электромагнитных волн в среде. Идея метода в излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различие по диэлектрической проницаемости. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами (уровень грунтовых вод), контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и талыми грунтами, между коренными и рыхлыми породами и т. д. (рис. 1)

В большинстве георадаров антенны располагаются по одну сторону от исследуемого объёма. Импульс излучается передающей антенной, распространяется в грунте, отражается от объектов, расположенных главным образом впереди антенного блока, и принимается затем приёмной антенной. Приёмная антенна располагается рядом с передающей антенной и обычно соединена с ней в один антенный блок [3].

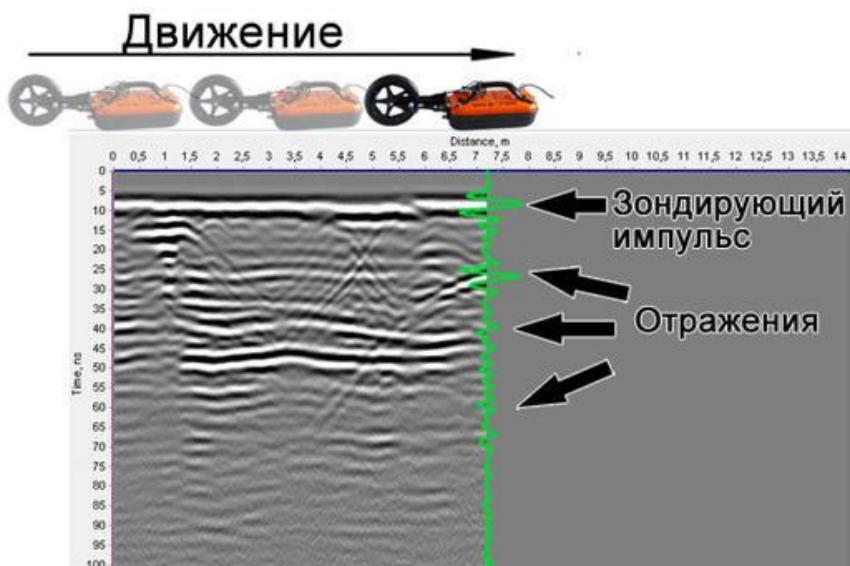


Рис. 1. Схема записи георадарных данных [4]

Минимальным обнаруживаемым уровнем сигнала можно обнаружить объекты, поперечный размер которых составляет не менее 0,3–0,6 длины волны в грунте. При размерах антенн около 40–50 см и длительности импульса генератора 1,5–3 не для локальных и линейных объектов минимальный диаметр составляет 30 см, для труб при их благоприятной ориентации к вектору Е (металлическая труба параллельна Е, пустая диэлектрическая перпендикулярна Е) – около 15 см.

Любое тело характеризуется собственными комплексными резонансными частотами. Рассеянный локальным объектом видеоимпульс содержит помимо основной волны, отражённой от освещённой части, ещё и сумму затухающих колебаний, каждое из которых характеризуется своей комплексной резонансной частотой. Собственные колебания электромагнитного поля вокруг тела могут быть вызваны многократным обтеканием дифракционных волн вокруг тела. Такие собственные колебания обычно характеризуются большим декрементом затухания. Для диэлектрических объектов возможны собственные колебания внутри объёма. Для тонкого вытянутого проводника характерны собственные колебания тока вдоль проводника между его концами.

Археологические объекты на радиограммах будут выявляться, как и любой другой объект, не связанный с геологическим строением территории исследования.

1.1. Интерпретация полученных результатов

В качестве примера можно рассмотреть изучение древнего захоронения, в виде отображения неповрежденных гробов (рис. 2), которые являются сильными отражателями сигналов георадара и выглядят как сильные гиперболы или локализованные плоские отражатели, в зависимости от формы поверхности гроба [5].

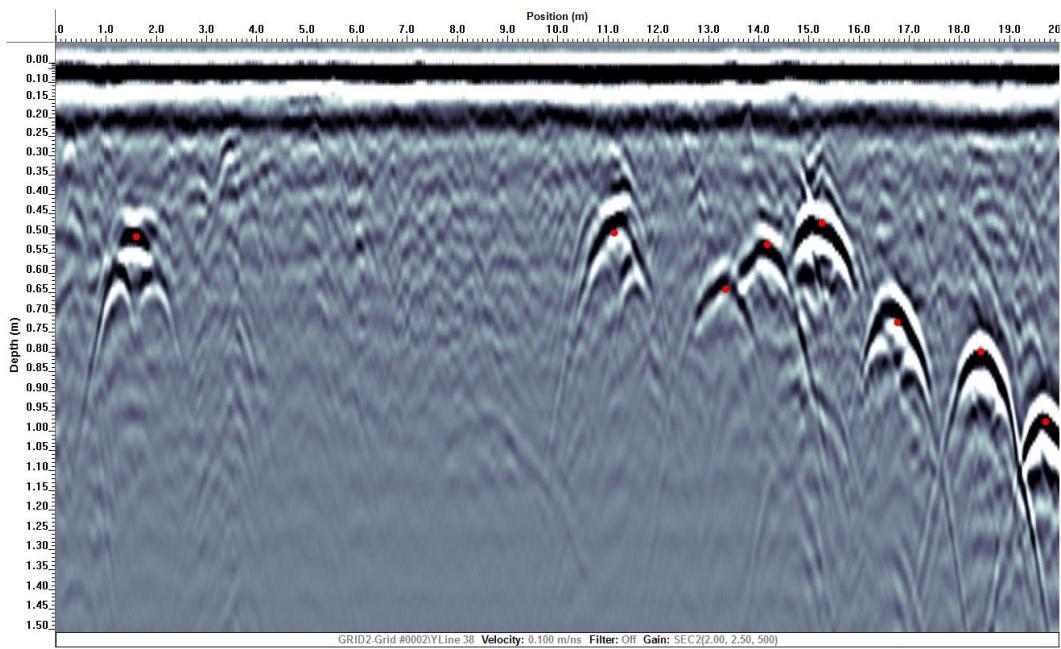


Рис. 2. Типичный разрез георадара, показывающий разную глубину и положение гробов [6]

На рисунке 3 показаны примеры отображения схожих объектов типа гробов, но уже в более сложных геологических условиях (большое содержание глинистого материала). Выкапывание почвы для захоронения радикально нарушает естественную структуру почвы, и это нарушение часто обнаруживается с помощью георадара.

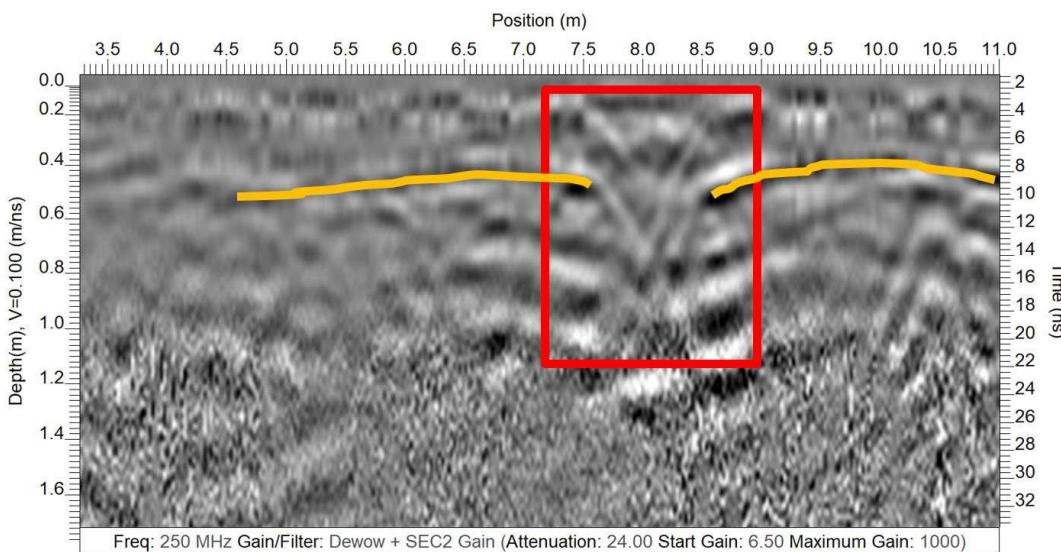


Рис. 3. Георадарный разрез, показывающий нарушенный слой почвы, индикатор потенциальной ямы из безымянной могилы [6]

Таким образом на примере описанных захоронений можно понять, что выявление археологических объектов на радиограммах будет связано с нарушением естественных принципов залегания геологической среды.

В таблице 1 представлены основные физические характеристики горных пород как различных типов сред.

Таблица 1
Основные физические характеристики горных пород

Среда	Относительная диэлектрическая проницаемость	Удельное затухание, дБ/м	Скорость распространения волн, м/нс
Воздух	1	0	0.3
Песок влажный	20–30	0.5–5	0.055–0.067
Песок сухой	4–6	0.01–1.5	0.122–0.15
Суглинок влажный	10–20		0.067–0.095
Суглинок сухой	4–6		0.122–0.15
Глина влажная	19–27	2–20	0.058–0.069
Глина сухая	2–7	10–50	0.113–0.212
Торф	50–78		0.034–0.042

Для определения глубины залегания объектов можно воспользоваться формулой:

$$H = \frac{\vartheta t}{2} , \quad (1)$$

где ϑ – скорость пробега волны, равная 12.5 см/нс, t – время, с.

1.2. Задание 1

В Приложении собраны данные георадиолокационной съемки.

Ваша задача:

1. Выделить на радиограмме все аномальные участки.
2. Определить тип, форму, размеры и глубину залегающего объекта.
3. Провести качественную и количественную интерпретацию выявленных аномалий, с пояснением того, что является аномалиеобразующим объектом.

1.3. Вопросы для самоконтроля

- Что изучает инженерная геофизика?
- На чем основан метод георадиолокации?
- В каких случаях может применяться метод георадиолокации?
- Как происходит георадиолокационная съемка?
- Каково основное ограничение глубинности георадарного метода?

2. АРХЕОМАГНИТОРАЗВЕДКА

Магниторазведка, или магнитометрия – один из методов разведочной геофизики, позволяющий проводить неинвазивное изучение строения Земли. Основная область применения – геологоразведочные работы и региональное изучение геологического строения, также метод используется при решении археологических, инженерных, технических и других задач. Магниторазведка позволяет изучать напряжённость магнитного поля. Археологические объекты имеют различные значение магнитной восприимчивости, которая изменяется в следствии воздействия различных факторов:

- 1) высокая температура;
- 2) восстановительная среда с дегидратацией гидроокислов железа;
- 3) образование остаточной намагниченности.

С точки зрения археологии наиболее интересно влияние человеческой деятельности на магнитную восприимчивость различных грунтов. Здесь важно отметить, что при поступлении энергии извне немагнитные гидроокислы железа способны переходить в магнитные соединения. Такой процесс происходит, например, при обжиге глин, что обуславливает значительную магнитную восприимчивость кирпича и керамики. Аналогичные преобразования происходят при готовке, обогреве жилища и прочих бытовых делах. Менее очевидным проявлением описанного механизма является повышение магнитной восприимчивости в результате гниения, сопряжённого с выделением тепла, и других процессов почвообразования, что объясняет повышенную магнитную восприимчивость почв. Помимо процессов, связанных с преобразованием вещества, важную роль играет и перенос. Так, локальное понижение рельефа со временем будет заполняться почвенными частицами, что приведёт к повышению магнитной восприимчивости на этом участке [7]. На рисунке 4 представлена величина магнитной восприимчивости различных веществ.

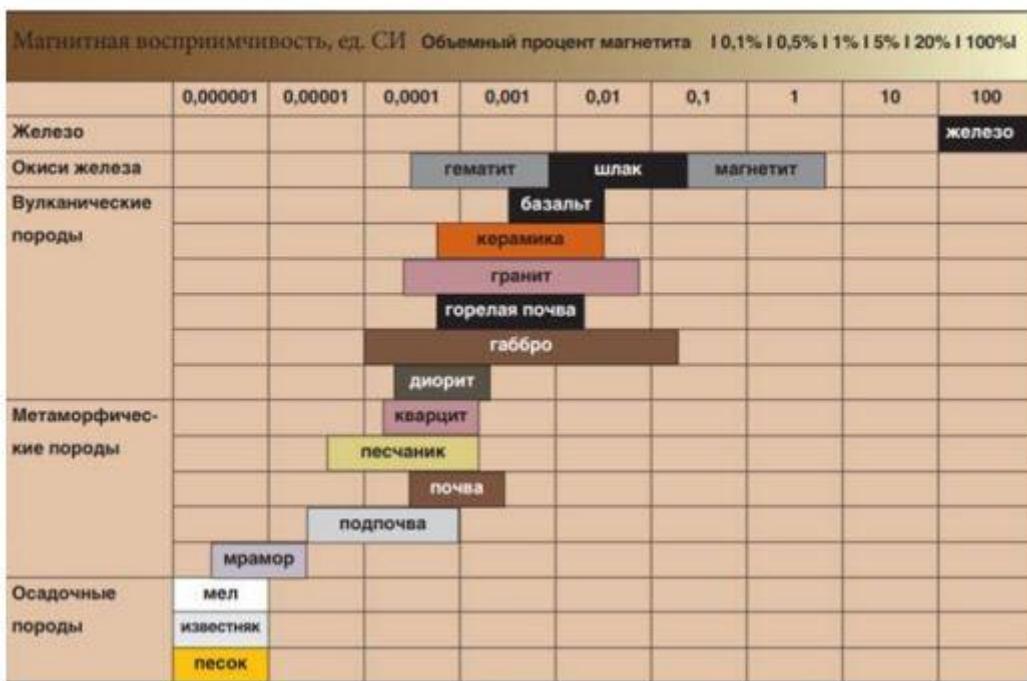


Рис. 4. Магнитная восприимчивость различных веществ [8]

2.1. Ввод поправок за вариации магнитного поля

Изменения магнитного поля Земли во времени в результате различных факторов, называются геомагнитными вариациями. Если магнитное поле Земли представить, как разность между наблюдаемой величиной напряженности магнитного поля и средним ее значением за какой-либо длительный промежуток времени, например, месяц или год, то эту разность мы и называем «геомагнитные вариации». Наблюдения показывают, что она непрерывно меняет свое значение во времени, причем такие изменения часто носят периодический характер. Данные магнитных обсерваторий накапливаются непрерывно, и простой просмотр магнитограмм позволяет сразу выявить геомагнитные возмущения, как отклонения от некоторого своего стационарного состояния. Из многочисленных исследований геомагнитных возмущений известны их характерные признаки, в первую очередь интенсивность, продолжительность протекания и пространственное распределение. Установлено, что геомагнитные возмущения на поверхности Земли есть сумма эффектов, различных источников, представляющих

собой сложные системы токов, текущих в ионосфере и в магнитосфере Земли. Структура и динамика токовых систем геомагнитных возмущений все еще недостаточно изучены, но некоторые их параметры достаточно твердо установлены. На сегодня можно принять, что переменное магнитное поле состоит из следующих частей: $S + L + DP + DR + DCF + DT$, где:

S – регулярная часть поля, возникающая из-за волнового излучения Солнца (солнечно-суточные вариации); ее статистическая аналогия – Sq вариация: токовая система, развивающаяся на освещенной стороне Земли на высоте слоя E ;

L – регулярная часть поля, возникающая из-за лунных приливов в верхней атмосфере (лунно-суточные вариации), статистически выделяется методом наложения эпох по возможно большему периоду наблюдений, также приурочена к слою E ;

DP – нерегулярная часть поля, возникающая из-за корпускулярного излучения Солнца, ее статистическая аналогия – Sd вариация: токи развиваются в виде электроструй в зоне полярных сияний (суббури) на высотах слоя E ;

DR – поле кольцевого тока, существенно усиливающееся в период магнитных бурь планетарного масштаба, его аналогия – главная фаза в Dst вариации: токи развиваются во внешней части радиационных поясов Земли;

DCF – нерегулярная часть поля, возникающая из-за токов на поверхности магнитосферы при обтекании ее солнечным ветром, ее статистическая аналогия – начальная фаза Dst – вариации;

DT – поле токов хвоста магнитосферы, определяемое движением плазмы, статистической аналогии не имеет, наименее изученная часть вариаций.

2.2. Спокойные солнечно-суточные вариации

Спокойные солнечно-суточные вариации (Sq), представляют собой изменения элементов земного магнетизма с периодом, равным продолжительности солнечных суток. Основная причина Sq – волновое излучение Солнца, основной механизм – генерация токов вследствие динамо эффекта в слое E ионосферы. Характерная особенность

этих вариаций – зависимость их протекания от долготы: фазы колебаний того или иного элемента отличаются на разность долгот между двумя пунктами, где они измеряются. Так, если представить отклонение от средней величины какого-либо элемента, то есть его вариацию в данной точке земной поверхности, в виде простого гармонического колебания:

$$S = S_0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right), \quad (2)$$

где S_0 – амплитуда; T – солнечные сутки; t – местное время, то его вариация в другой точке, долгота которой отличается на λ , будет описываться уравнением:

$$Sq = S_0 \sin \left[2\pi \frac{t + \lambda}{T} \right]. \quad (3)$$

Как показывают наблюдения, Sq вариация элементов земного магнетизма не остается постоянной, сам ход её в определенных пределах меняется непрерывно от дня ко дню, при этом изменению подвержены главным образом амплитуды колебаний, фазы же остаются почти неизменными. Причем колебание суточного хода каждого элемента в северном полушарии возрастает от зимних месяцев, когда склонение Солнца наименьшее ($-23,5^\circ$), к летним, когда склонение Солнца наибольшее ($+23,5^\circ$) [9].

2.3. Интерпретация полученных результатов

Форма магнитной аномалии основных археологических объектов (печи, горны и т.п.) представляют из себя диполь в северной части отрицательный, а в южной – положительный (рис. 5).

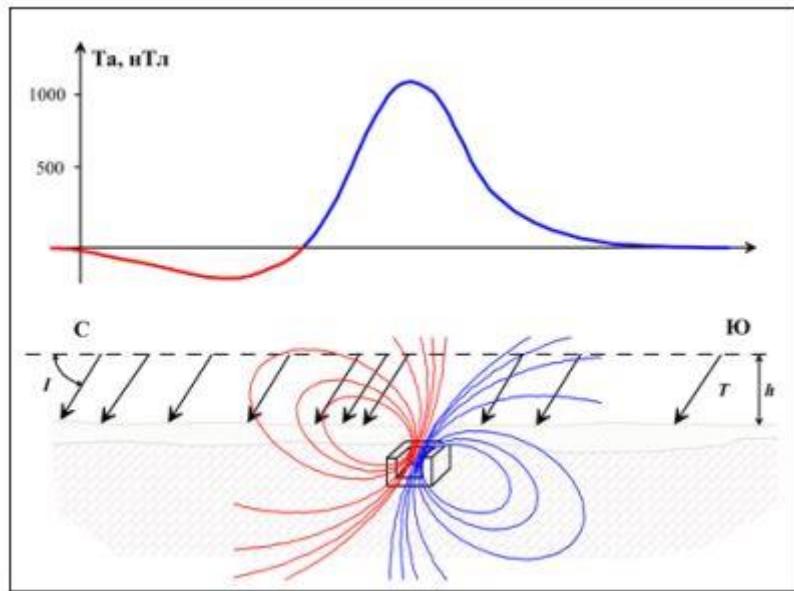


Рис. 5. Схема образования магнитных аномалий над объектами типа «печь», I – наклонение магнитного поля, T – геомагнитное поле, h – уровень измерений, Ta – аномальное магнитное поле печи [10]

2.4. Качественная и количественная интерпретация выявленных аномалий

Первым этапом интерпретации результатов магниторазведки является качественная интерпретация. При качественной интерпретации дается визуальное описание характера аномалий магнитного поля по карте, то есть отклонений от средних (фоновых) значений ΔT (полный вектор индукции магнитного поля Земли). При этом отмечается форма аномалий, их простиранье, примерные размеры, амплитуда. При этом рассматриваются лишь достоверные аномалии, руководствуясь правилом, что аномалию можно считать достоверной, если она отмечается не менее чем по трем соседним точкам, значение поля в которых превышает не менее чем в три раза среднюю квадратическую погрешность съемки.

Качественная оценка параметров залегания объекта производится по графикам ΔT или ΔZ (вертикальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли) вдоль интерпретационных профилей, проходящих через центры достоверных аномалий.

Простейшим способом интерпретации изолированных аномалий является способ характерных точек. В этом способе используется простая связь координат некоторых характерных точек интерпретируемой кривой ΔT или ΔZ (например, точки полумаксимума $x_{1/2}$) с параметрами тела (например, глубиной его залегания h). На аномальной кривой определяют положение начала координат, для этого используют расстояние между парами одноименных характерных точек. Обозначим это расстояние между полумаксимумами как $2x_{1/2}$. Для точек, удаленных на расстояние $x_{1/2}$ от начала координат, в которых T_a (Z_a) равно половине максимального T_{max} (Z_{max}), получаем следующее уравнение:

$$\frac{mh}{(x_{1/2}^2 + h^2)} = \frac{m}{2h^2}, \quad (4)$$

где m – магнитный заряд, сосредоточенный в полюсе. При решении получаем $|x_{1/2}| \approx 0.77h$, тогда $h \approx 1.3|x_{1/2}|$.

Метод касательных. Сущность метода заключается в следующем. На графиках ΔT или ΔZ проводятся касательные, параллельные оси x , через максимум, минимум (если они есть), а также касательные вдоль боковых сторон аномалий через точки перегиба. Далее находятся точки пересечения всех касательных и определяются абсциссы точек пересечения x_1, x_1', x_2, x_2' . Если на кривой ΔT (ΔZ) минимумов нет (аномалии одного знака), то за точки x_1, x_1' берутся точки пересечения наклонных касательных с осью x .

Приближенная глубина залегания верхней кромки тела, создавшего данную аномалию, рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned} h &= \frac{x_1 - x_2}{2} \text{ и} \\ h &= \frac{x_1' - x_2'}{2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Среднее из полученных двух значений h и служит для оценки глубины залегания верхней кромки тела.

2.5. Задание 2.

Практическая часть.

У каждого студента (по вариантам) представлены два файла, которые преподаватель присыпает непосредственно на практическом занятии:

- 1) файл с расширением *.txt – основной файл съемки;
- 2) файл с расширением *.bas – файл вариации для данной съемки.

В зависимости от применяемого магнитометра структура файла съемки может отличаться.

В случае, если у Вас в варианте использовался магнитометр Geometrics G859, то структура файла выглядит следующим образом:

- 1 столбец – указывается тип съемки;
- 2 столбец – величина магнитного поля, в нТл;
- 3 столбец – величина магнитного поля в случае градиентной съемки, в нТл;
- 4 столбец – значение времени в момент съемки в формате Time (HH:MM:SS.SS);
- 5 столбец – дата съемки в формате Data (MM/DD/YYYY);
- 6 столбец – указывается тип съемки;
- 7 столбец – координата X в случае подключения датчика GPS;
- 8 столбец – координата Y в случае подключения датчика GPS;
- 9 столбец – значение времени в момент съемки в формате Time (HH:MM:SS.SS) по данным GPS;
- 10 столбец – дата съемки в формате Data (MM/DD/YYYY) по данным GPS;
- 11 столбец – количество отсчетов с момента последнего замера или разрыва;
- 12 столбец – номер профиля;
- 13 столбец – номер пикета;
- 14 столбец – статус внутренней информации;
- 15 столбец – указание номера начального и конечного пикета для данного профиля.

Если у Вас прибор MMPOS-1, то следует в меню «Тип канала» указать:

- 1 столбец – величина магнитного поля, в пТл;
- 2 столбец – среднеквадратичная погрешность измерения датчика, в пТл;
- 3 столбец – флаги состояния измерения;
- 4 столбец – дата съемки в формате Data (MM-DD-YY);
- 5 столбец – значение времени в момент съемки в формате Time (HH:MM:SS.SS);
- 6 столбец – номер профиля;
- 7 столбец – номер пикета;
- 8 столбец – метка или полушарие по данным ГНСС-приемника.

Для данных магнитовариационной станции файл имеет следующую структуру:

- 1 столбец – дата съемки в формате Data (YYYY/MM/DD);
- 2 столбец – значение времени в момент съемки в формате Time (HH:MM:SS.SS);
- 3 столбец – величина магнитного поля, в нТл.

Задание:

1. Ввести поправку за вариацию магнитного поля.
2. Рассчитать и построить карту наблюденного, аномального магнитного поля и график вариаций магнитного поля в момент съемки.
3. Каждый студент должен найти профиль, максимально описывающий его аномалию, определить форму и глубину залегания объекта.
4. Провести качественную и количественную интерпретацию выявленных аномалий, с пояснением, что является аномалиеобразующим объектом. Примеры построения графиков и карты приведены на рисунках 6, 7, 8.



Рис. 6. Пример построения графиков вариации магнитного поля



Рис. 7. Пример построения графиков аномального объекта вдоль профиля

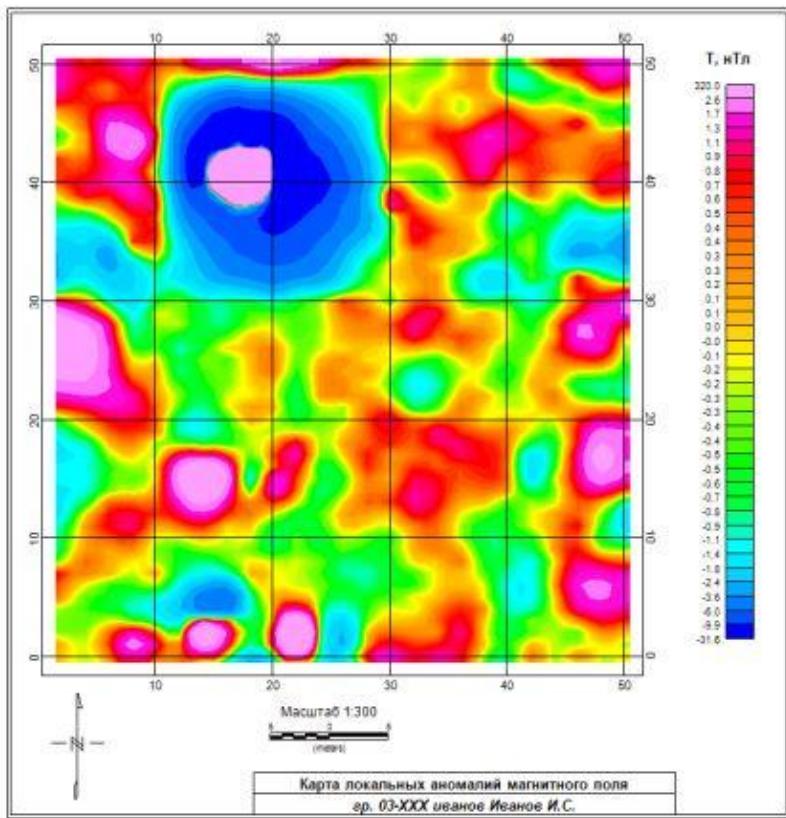


Рис. 8. Пример построенной карты аномалий локального магнитного поля

2.6. Вопросы для самоконтроля

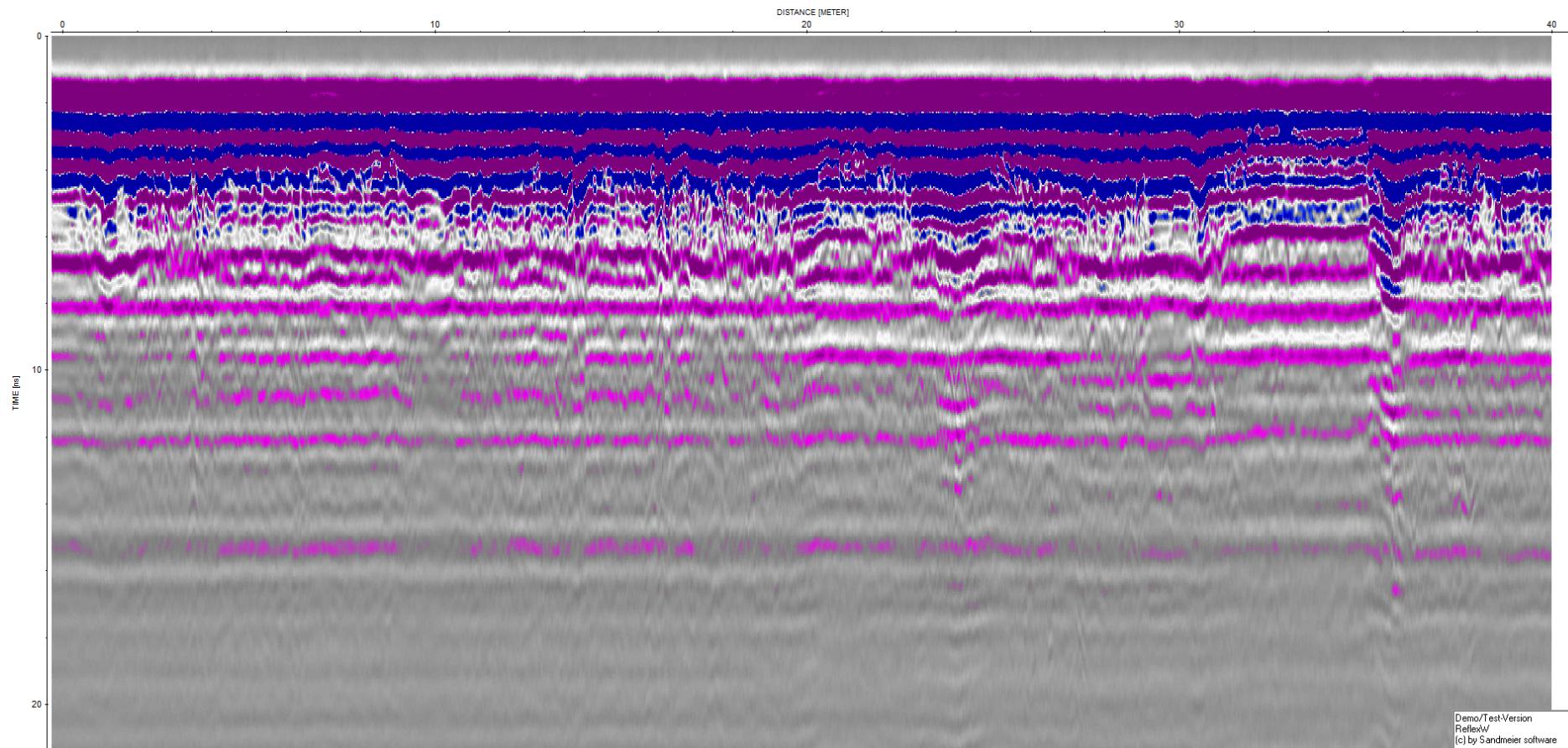
- На чем основана магниторазведка?
- Что являются вариациями магнитного поля Земли?
- Почему применяют магниторазведку при изучении археологических объектов?
- Что означают следующие составляющие переменного магнитного поля $S + L + DP + DR + DCF + DT$?
- Что является первым этапом интерпретации результатов магниторазведки?

ЛИТЕРАТУРА

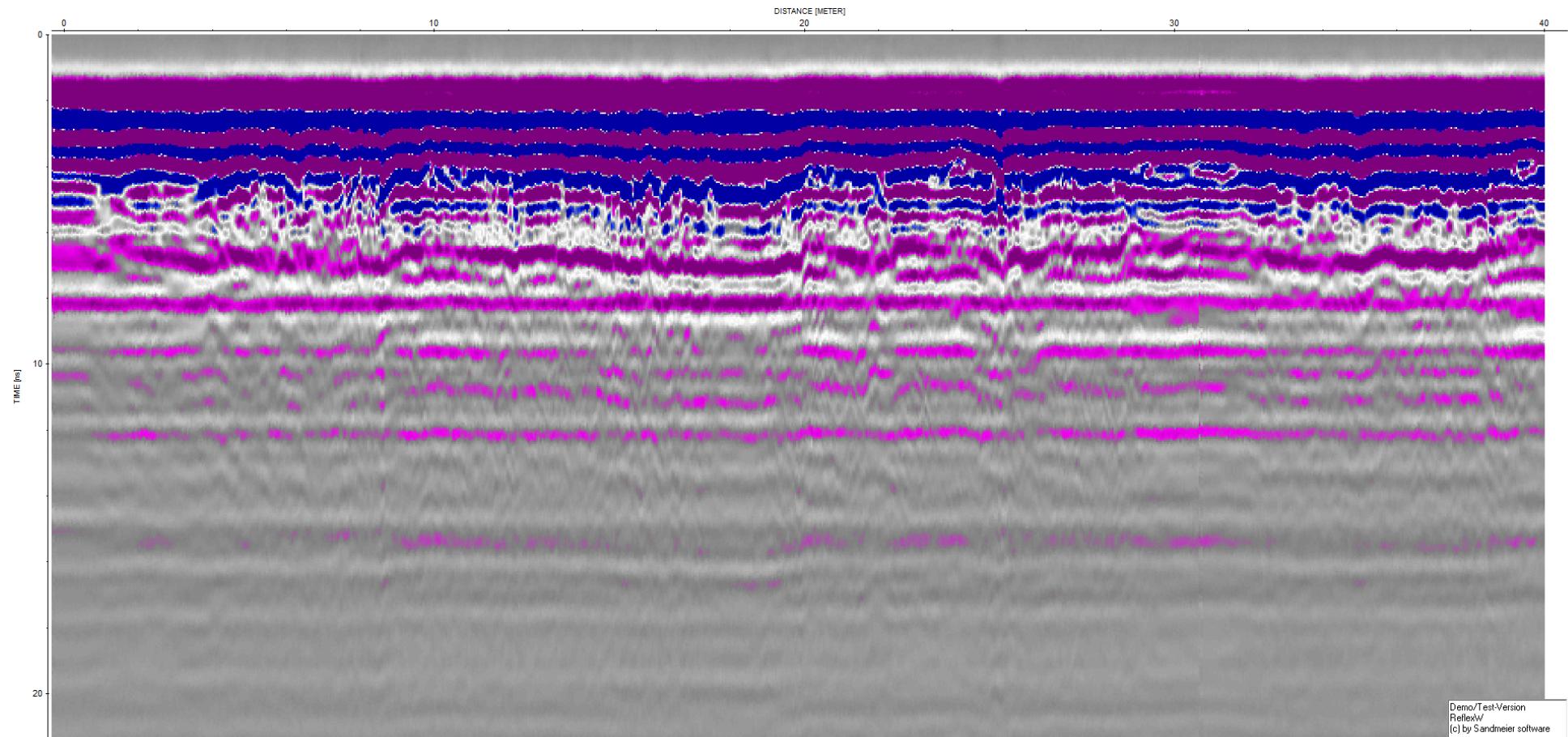
1. *Верутин М.Г.* Инженерная геофизика: практическое пособие / М.Г. Верутин. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2008. – 65 с.
2. *Кузнеченков Е.П.* Инженерная геофизика: лабораторный практикум: Практикум / Е.П. Кузнеченков, Е.В. Соколенко. – Ставрополь: изд-во Северо-Кавказского фед. ун-та, 2017. – 191 с.
3. *Изюмов С.В.* Теория и методы георадиолокации / С.В. Изюмов, С.В. Дручинин, А.С. Вознесенский. – М.: Горная книга, 2008. – 196 с.
4. *Дручинин С.В.* О новых геофизических методах исследования горного массива / С.В. Дручинин, С.В. Изюмов, А.Г. Чернокалов // Подземное строительство России на рубеже XXI века. Итоги и перспективы. 2000. – С. 154–158.
5. Институт археологии РАН. – URL: <https://www.archaeolog.ru> (дата обращения: 17.10.2024).
6. Sensors and software from radiodetection. – URL: <https://www.senssoft.ca/ru/georadar/archaeology/#graves> (дата обращения: 17.10.2024).
7. *Франтов Г.С.* Геофизика в археологии / Г.С. Франтов, А.А. Пинкевич. – Л.: Недра, 1966. – 212 с.
8. *Восс О.* Магнитная разведка в археологии. 12 лет применения Оверхаузеровского градиентометра GSM-19WG / О. Восс, А.В. Мельников, Т.Н. Смекалова. – Санкт-Петербург, 2007. – 73 с.
9. *Амиантов А.С.* Вариации магнитного поля Земли / А.С. Амиантов, А.Н. Зайцев, В.И. Одинцов, В.Г. Петров. – М., 2001. – 44 с.
10. *Мельников А.В.* Магнитометрическое изучение гончарных печей средневековой Таврики / А.В. Мельников, Т.Н. Смекалова, А.В. Мыц, Б.В. Беван. – Изд-во СПбГУ, 2000. – 164 с.

Приложение

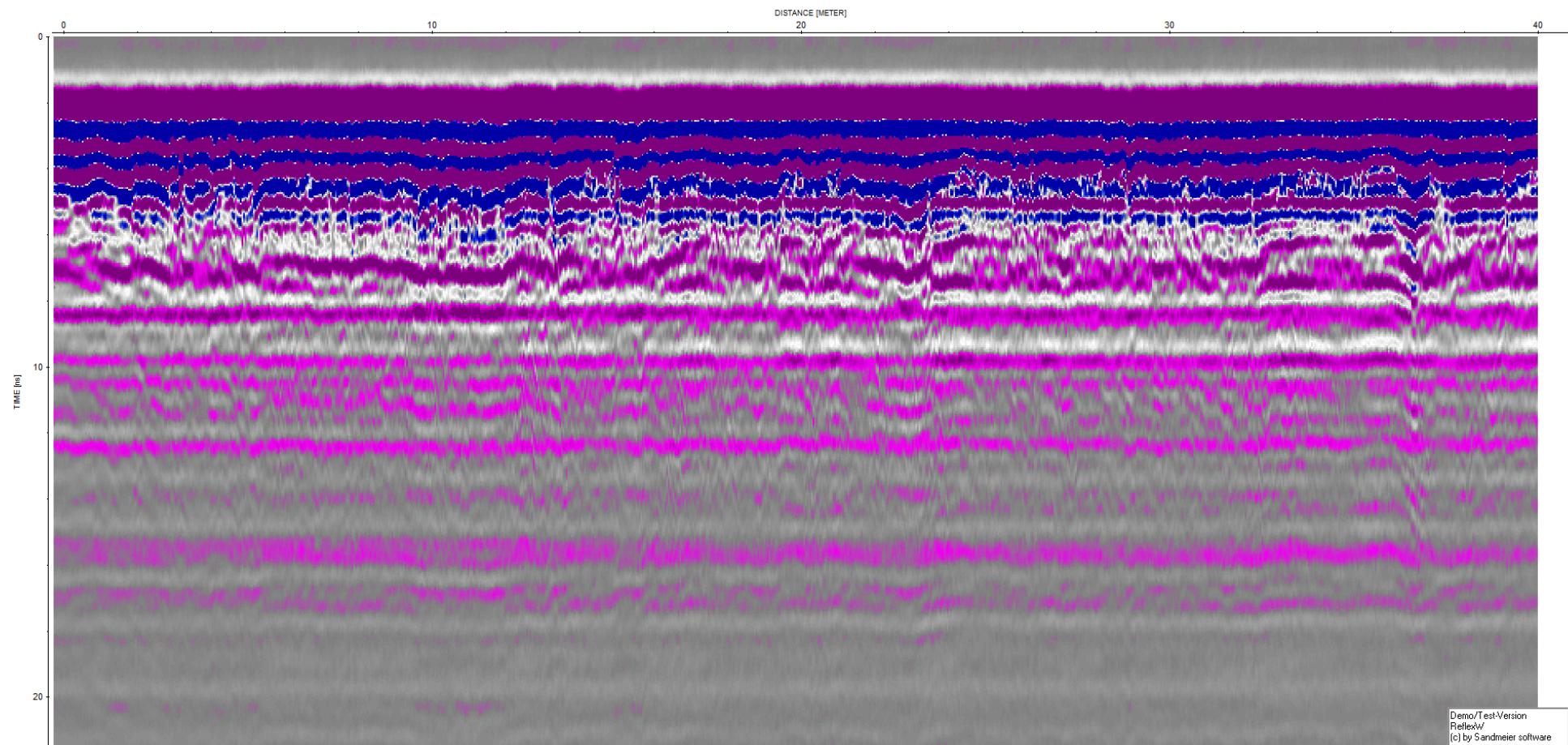
Вариант 1



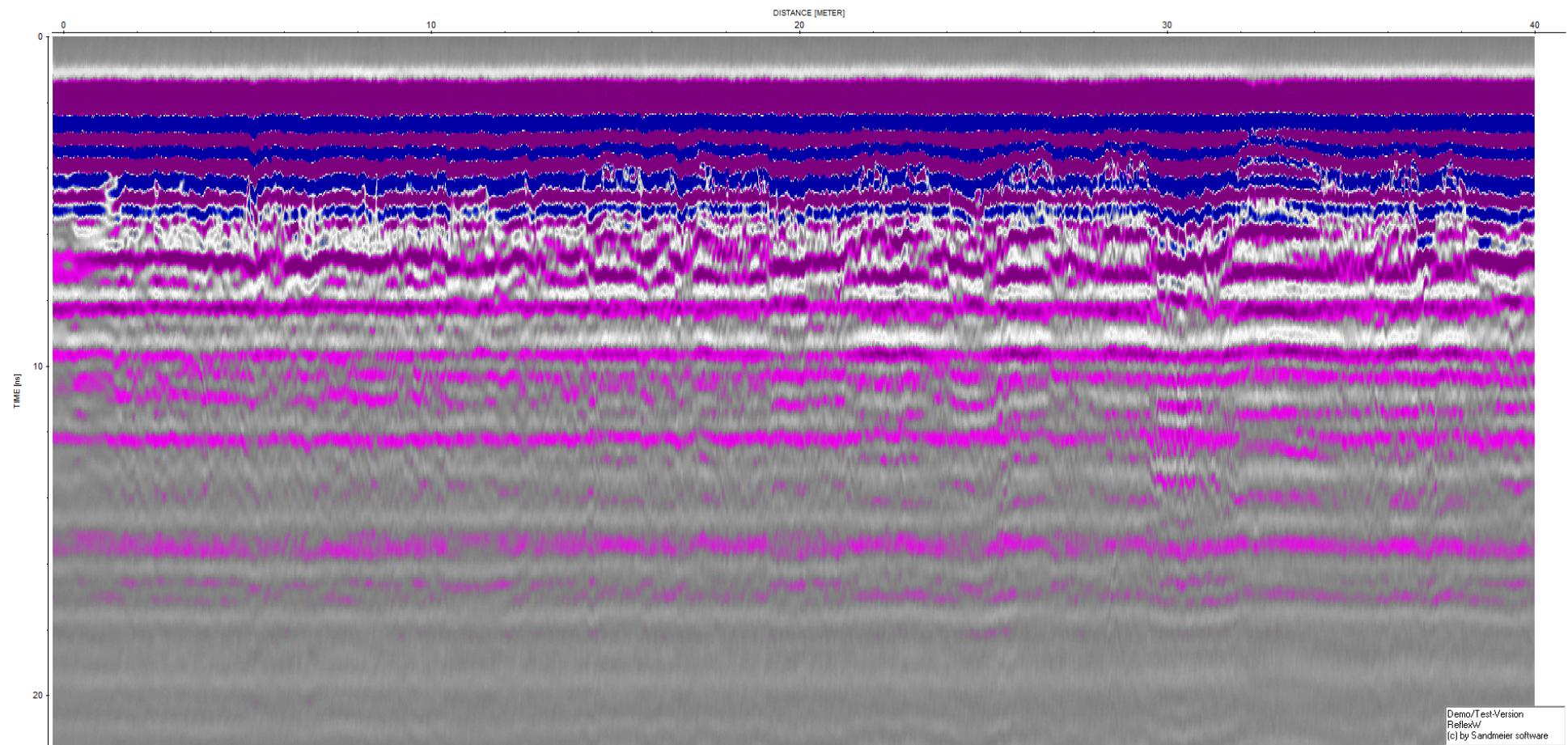
Вариант 2



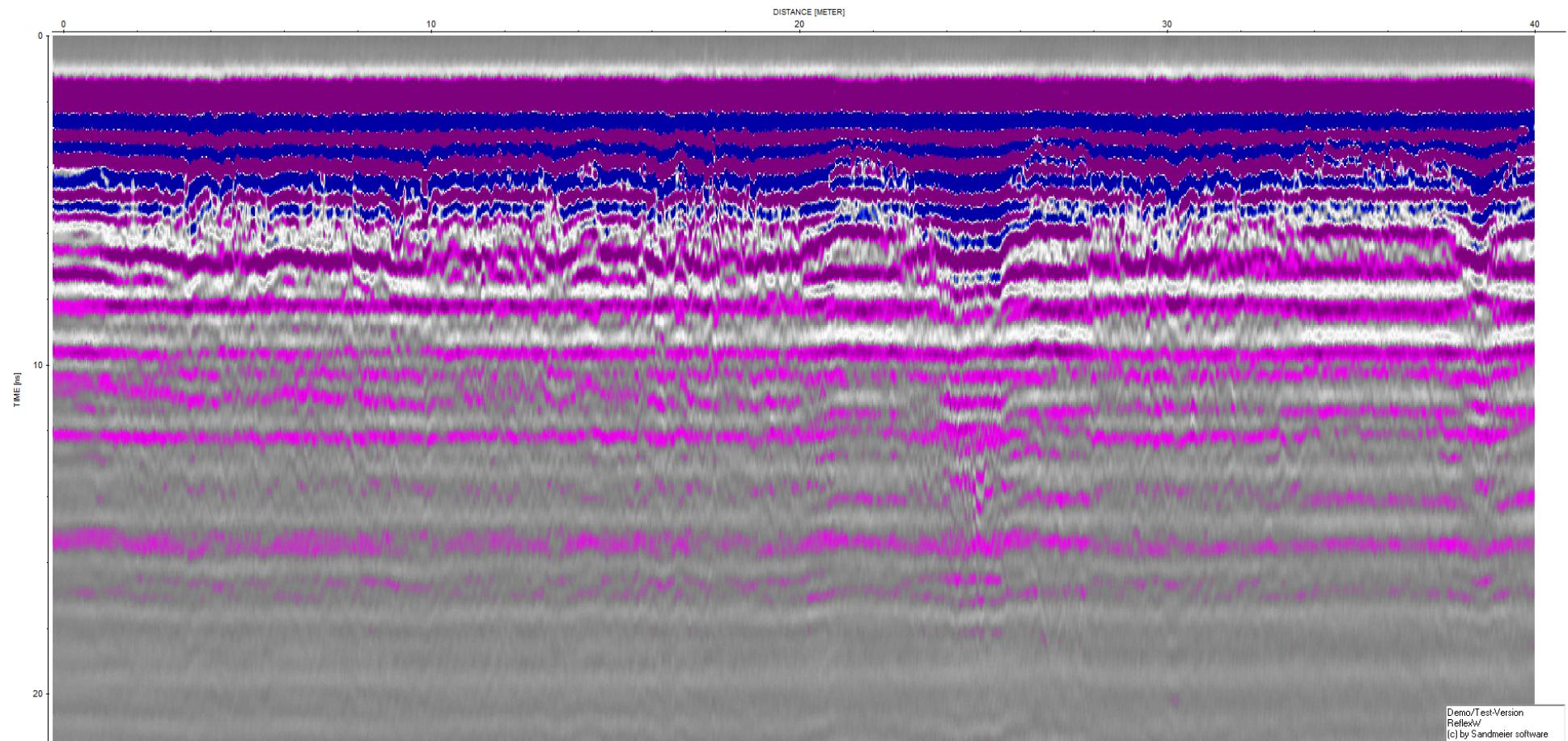
Вариант 3



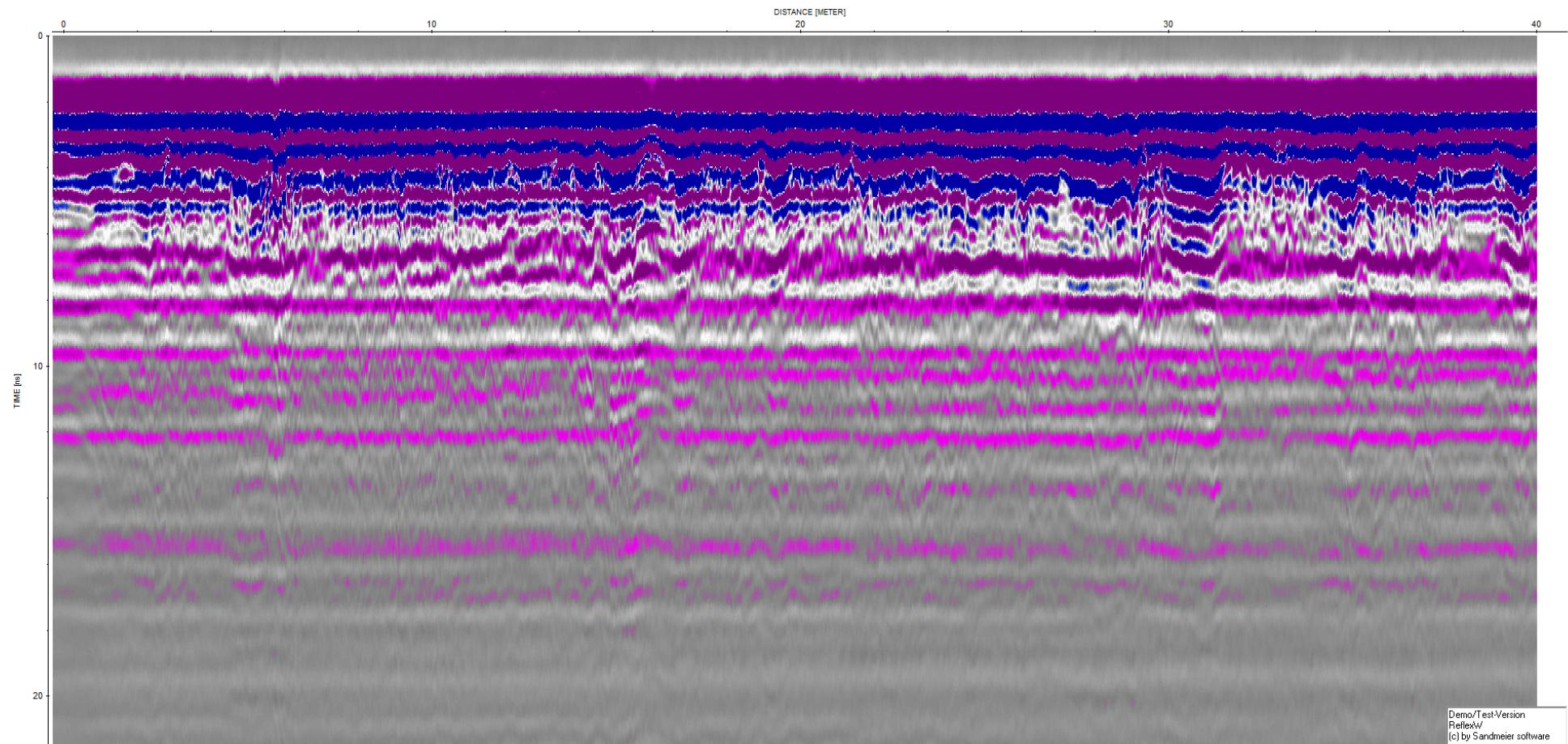
Вариант 4



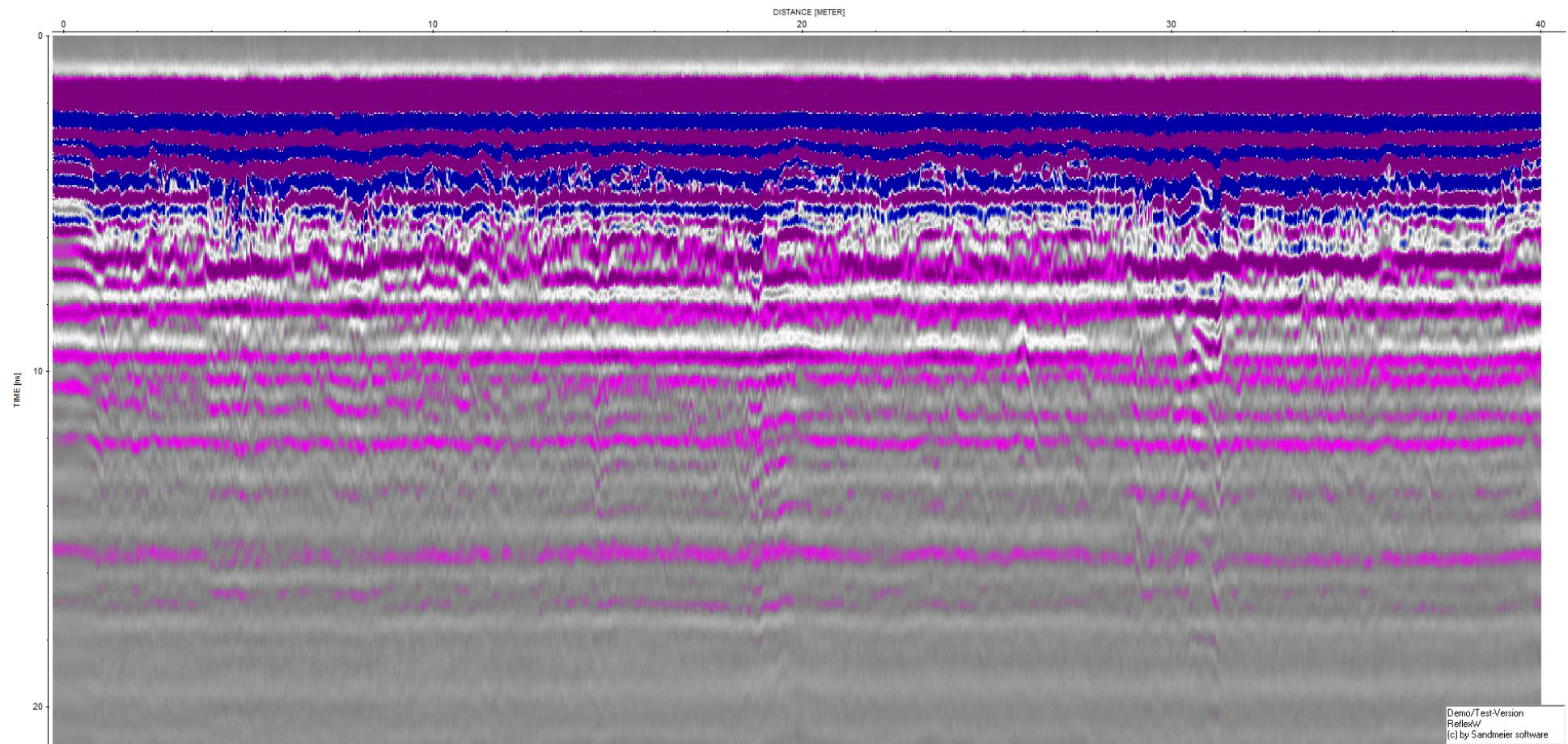
Вариант 5



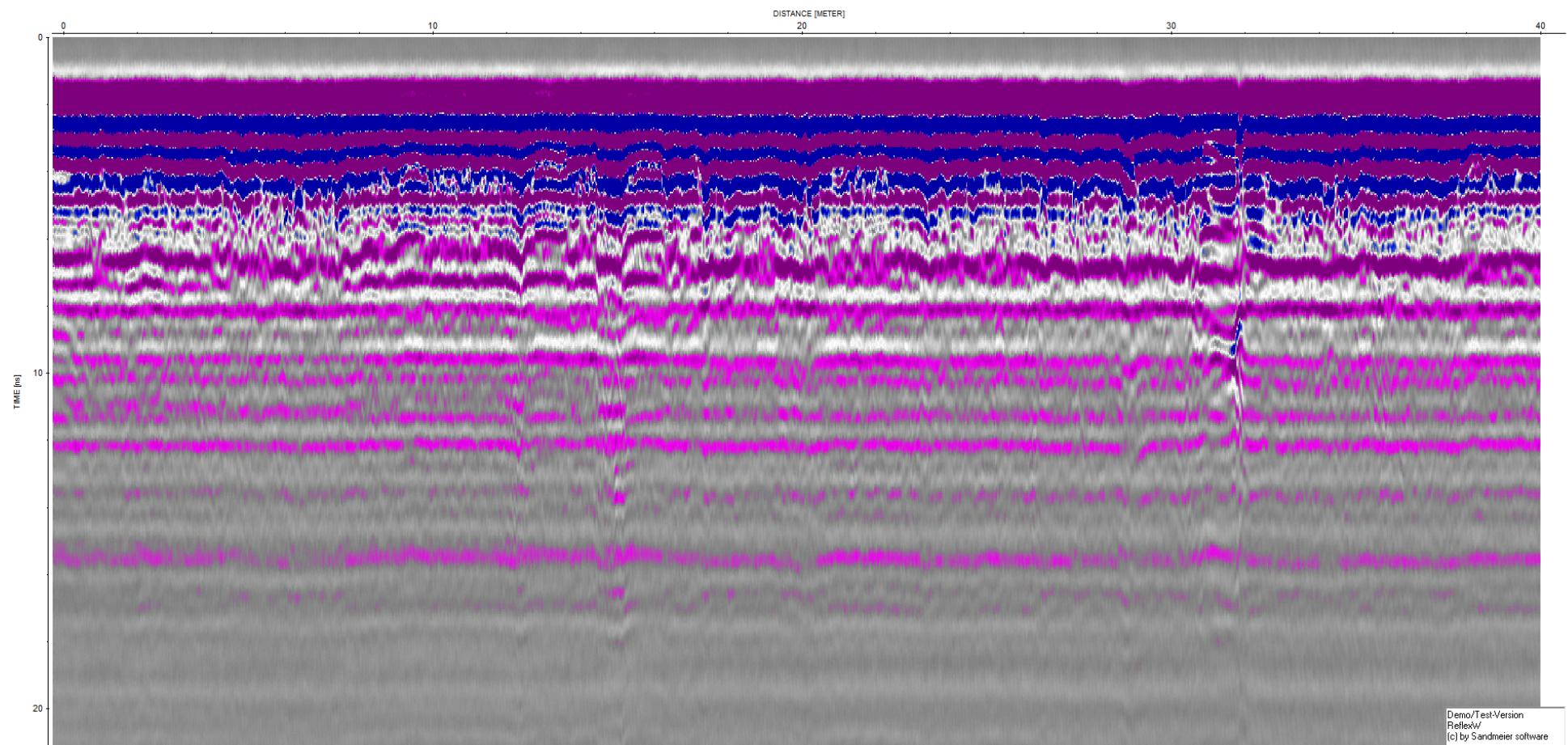
Вариант 6



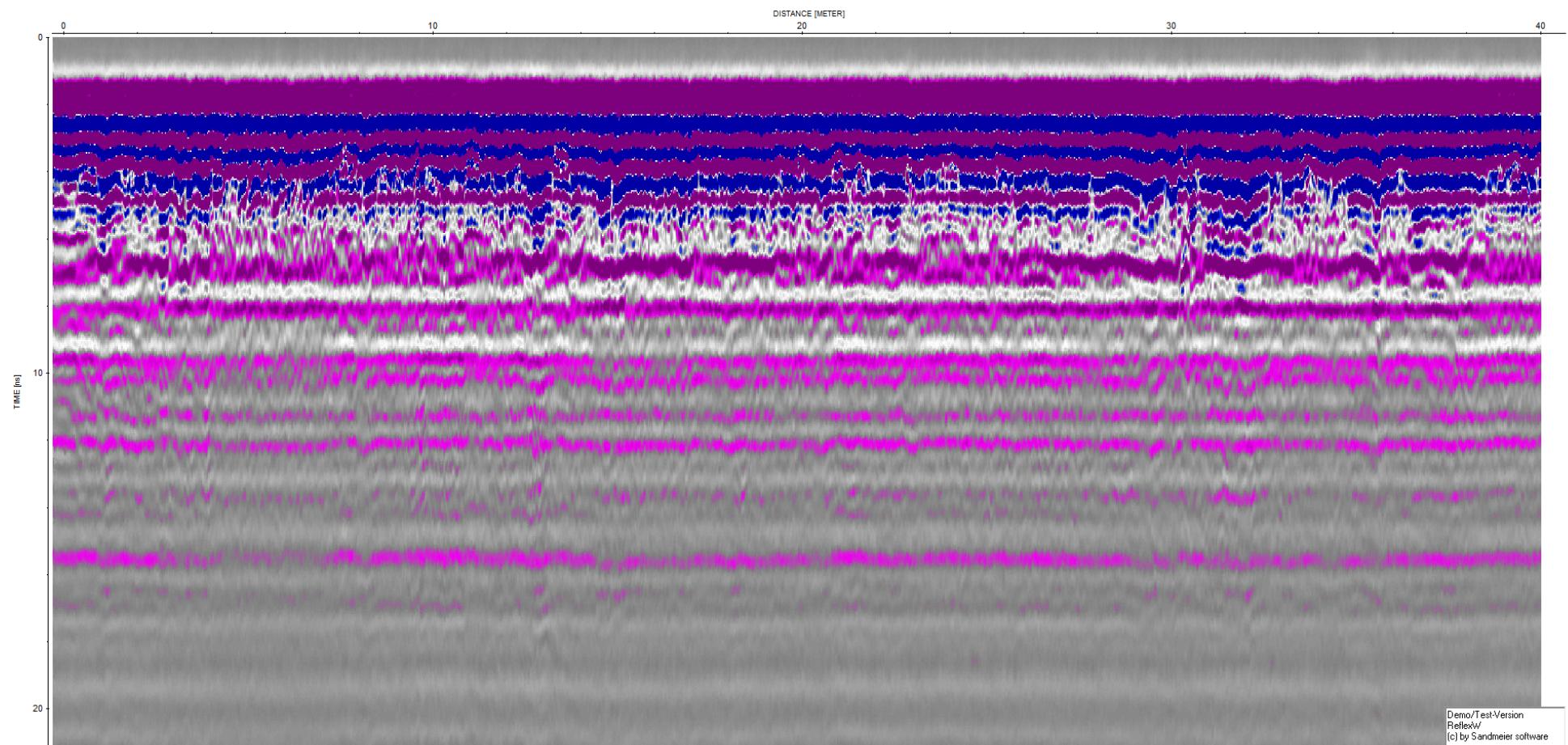
Вариант 7



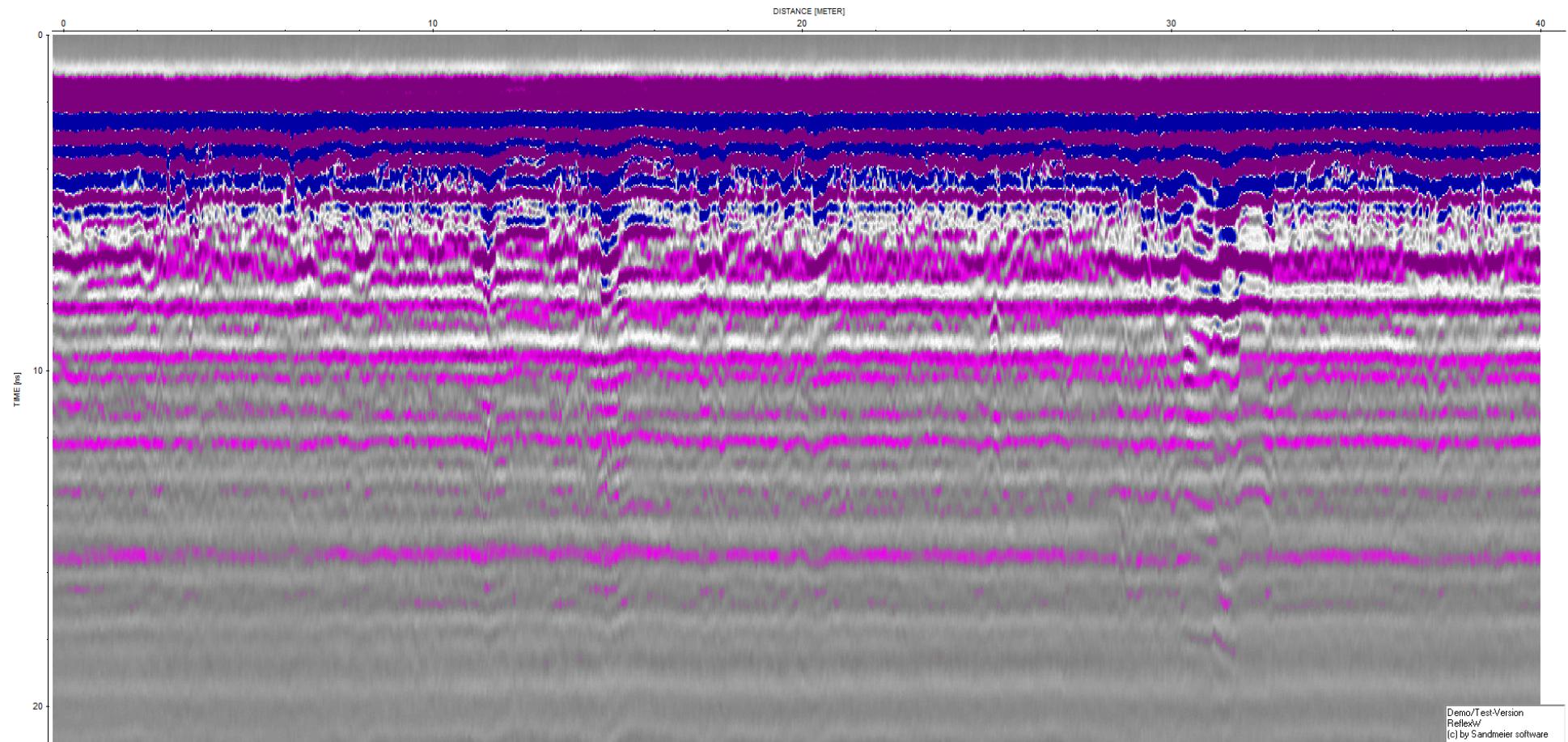
Вариант 8



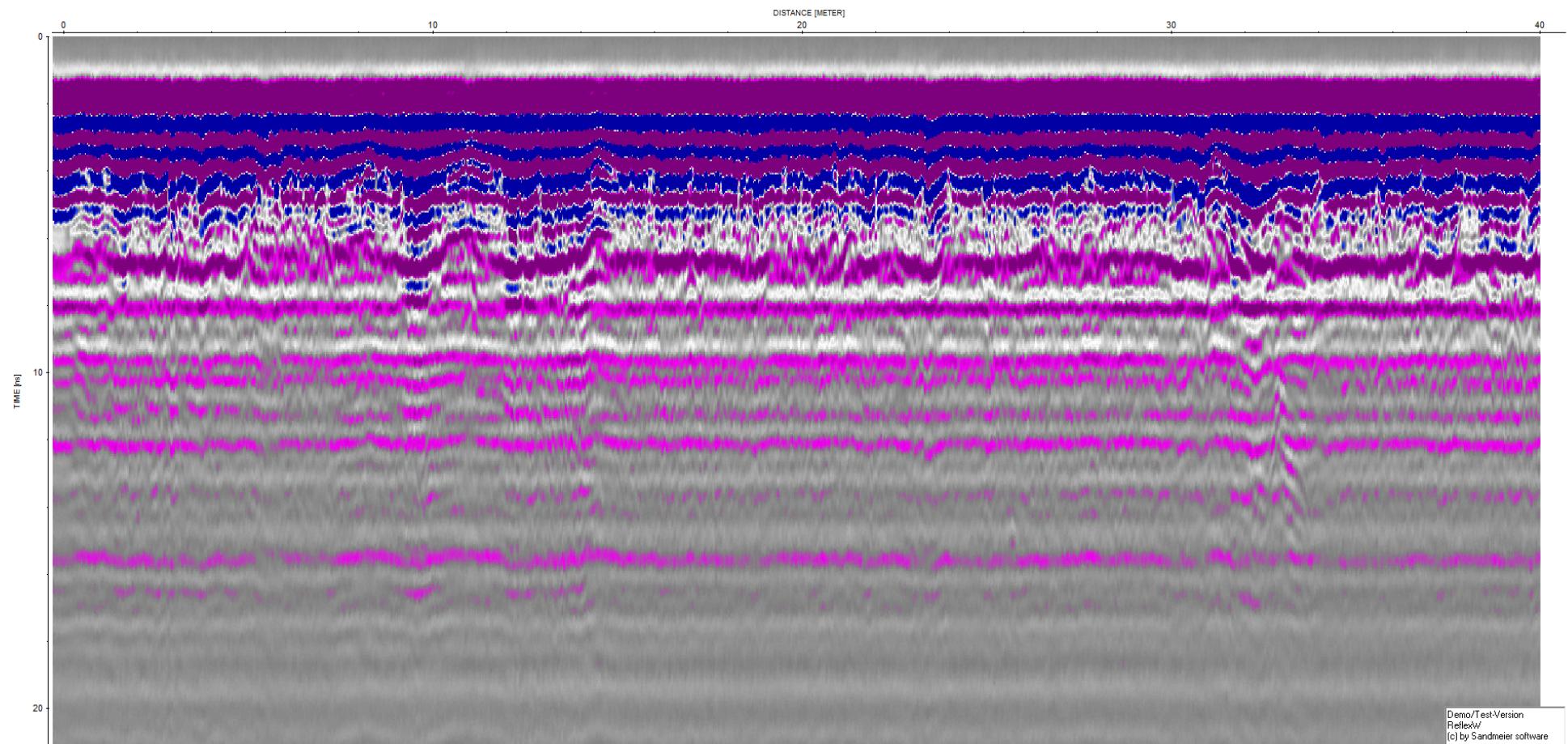
Вариант 9



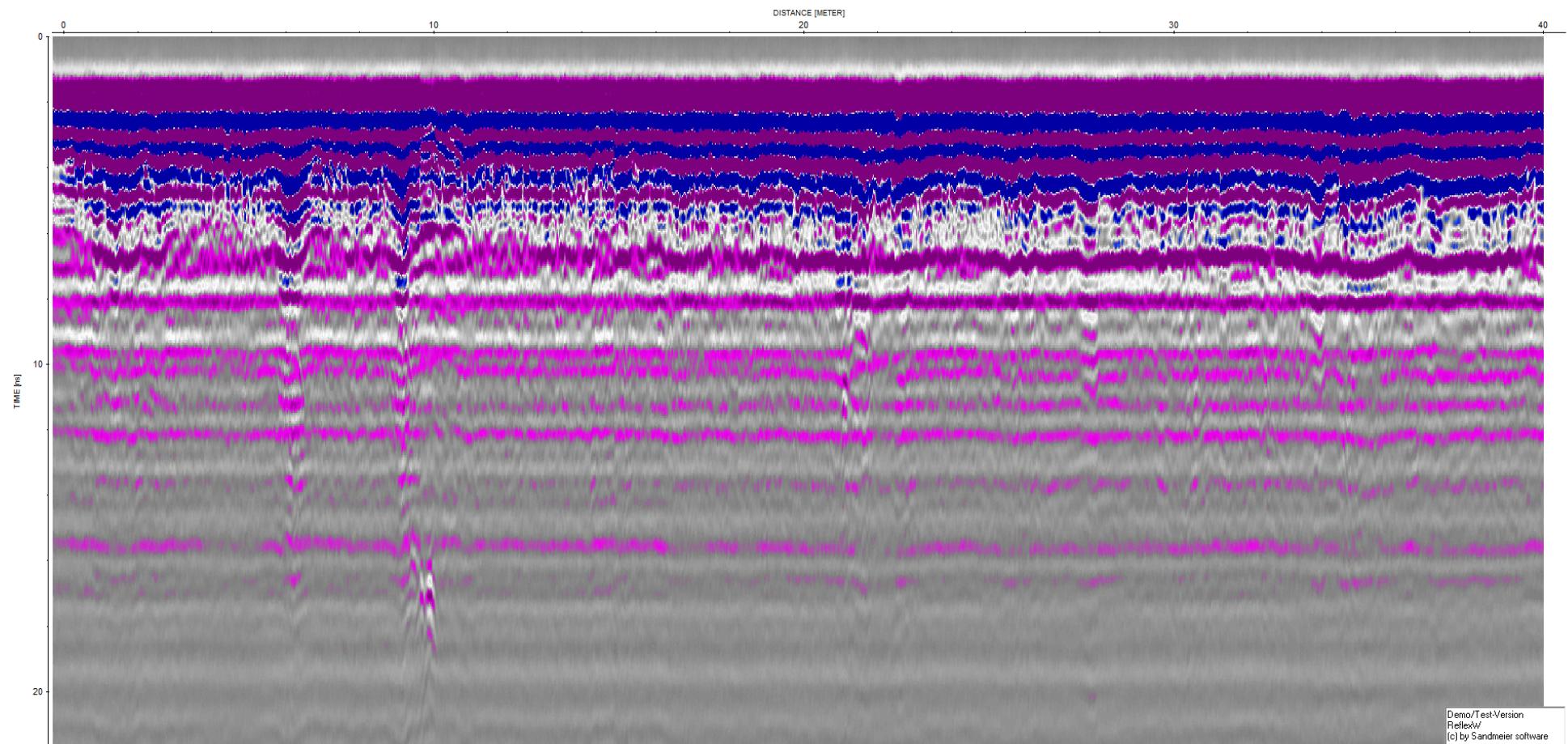
Вариант 10



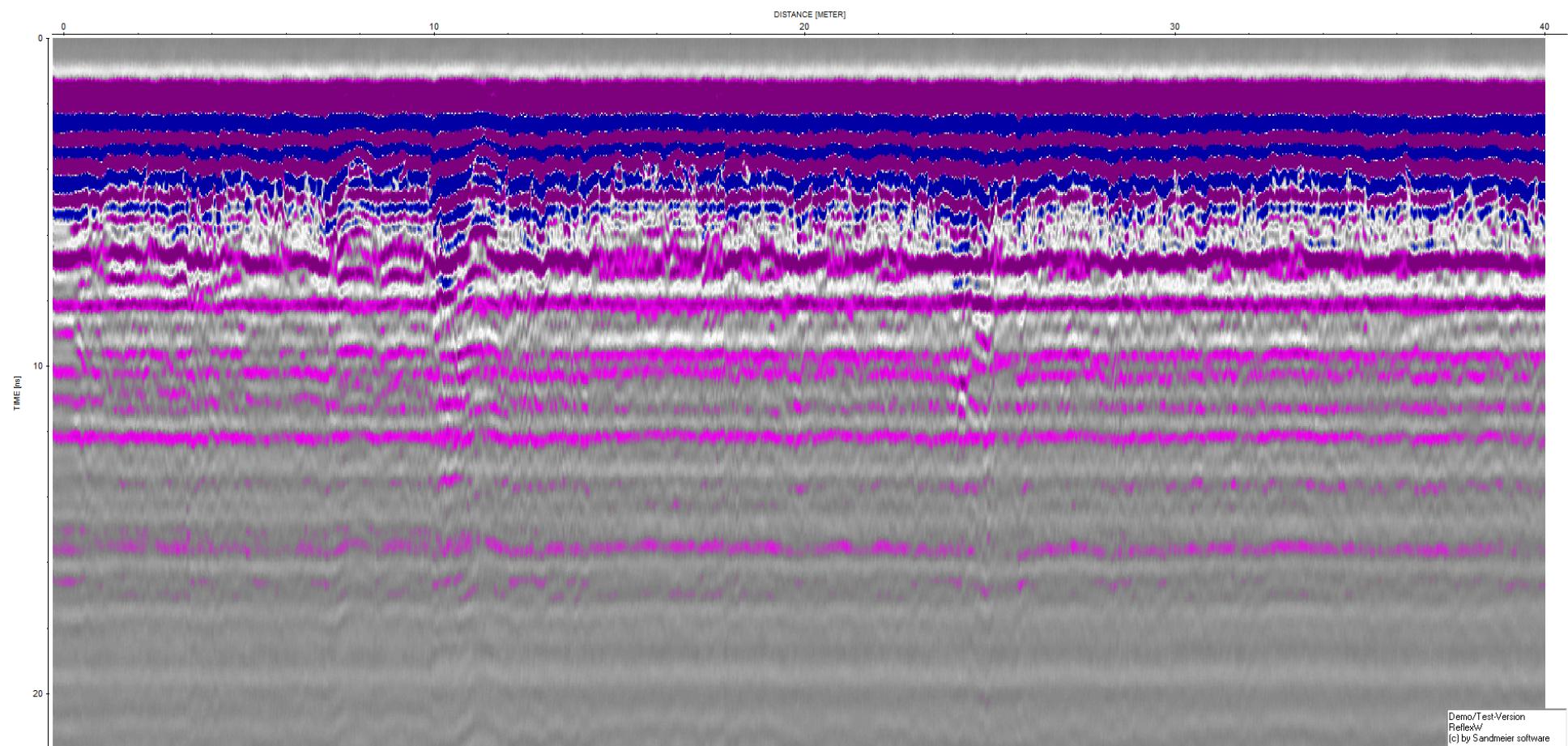
Вариант 11



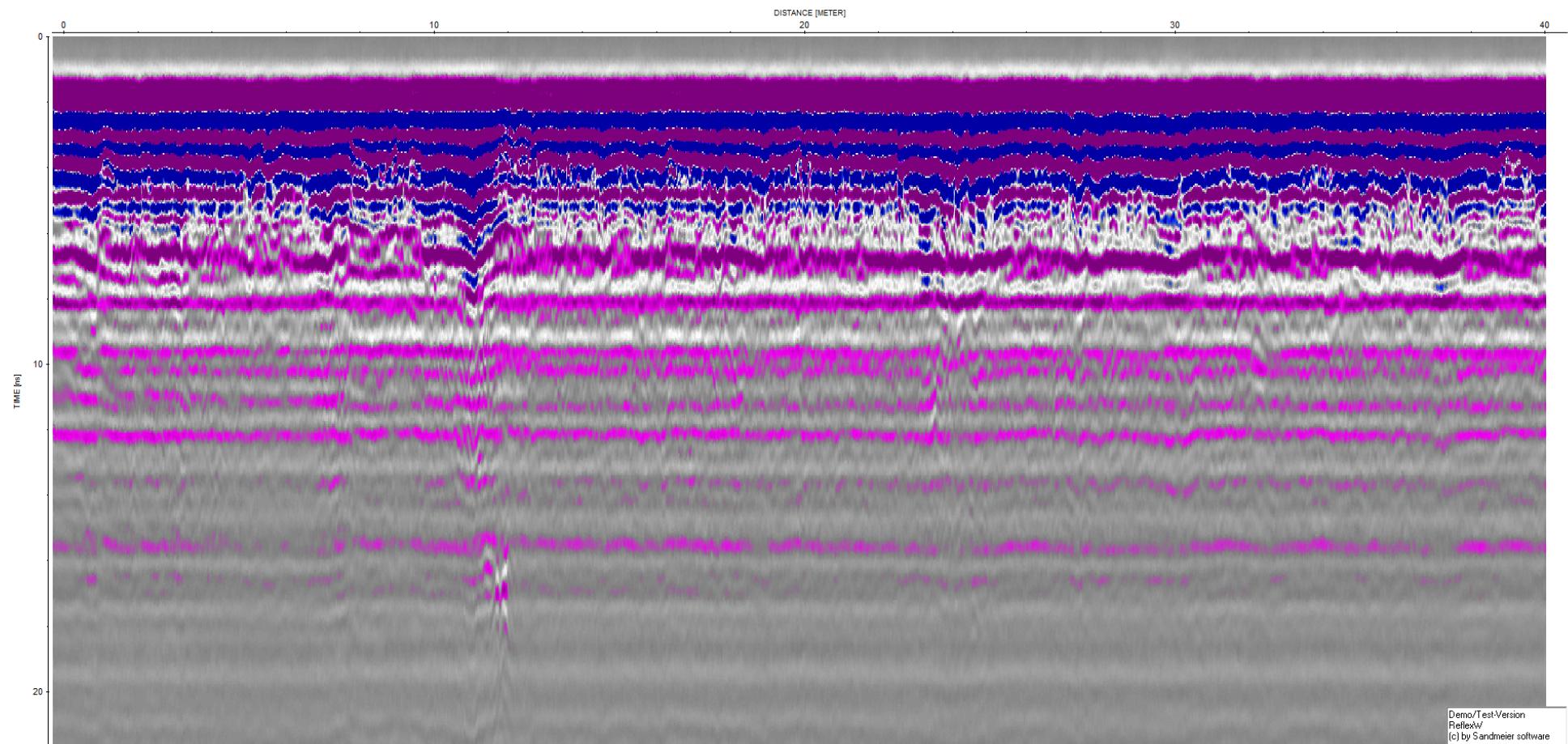
Вариант 12



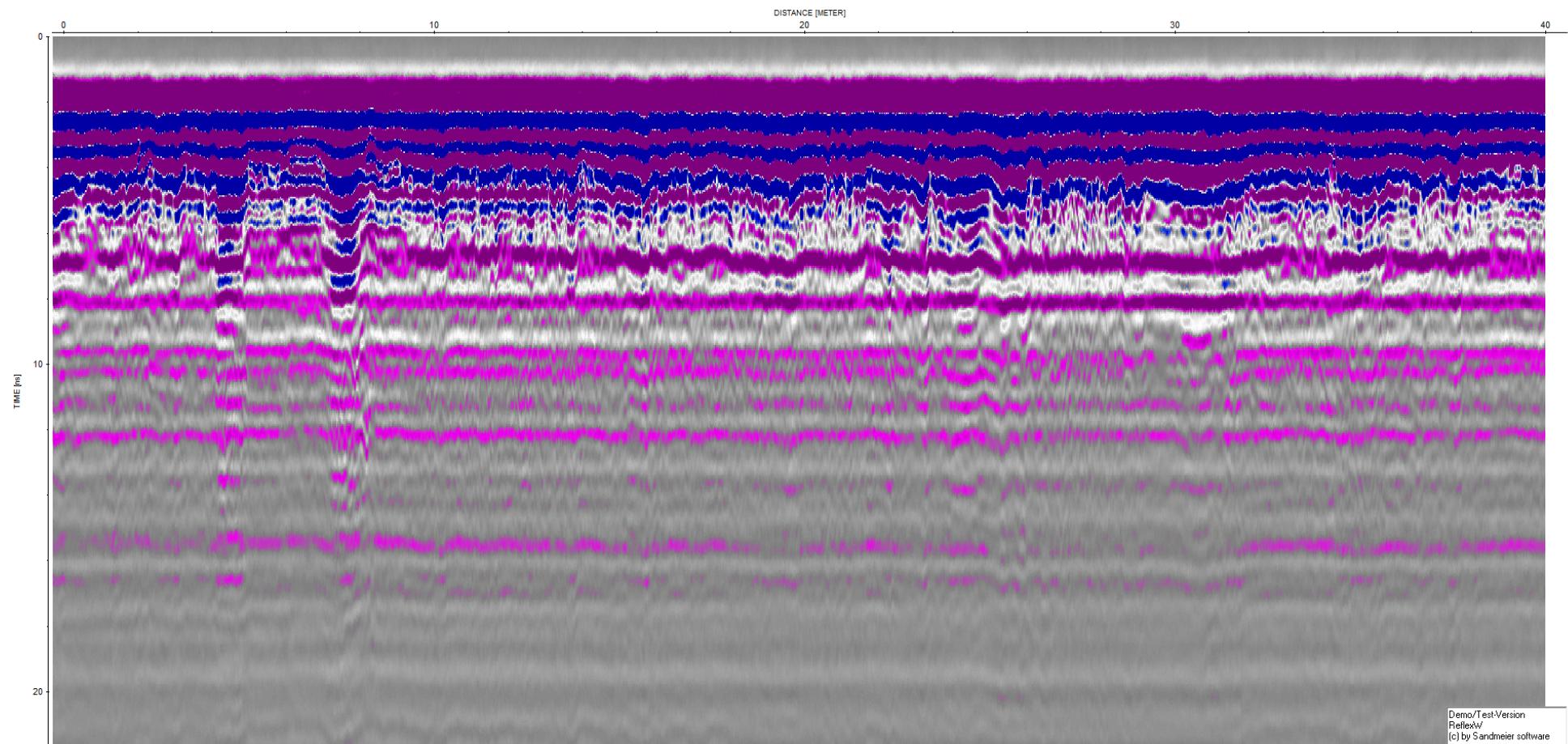
Вариант 13



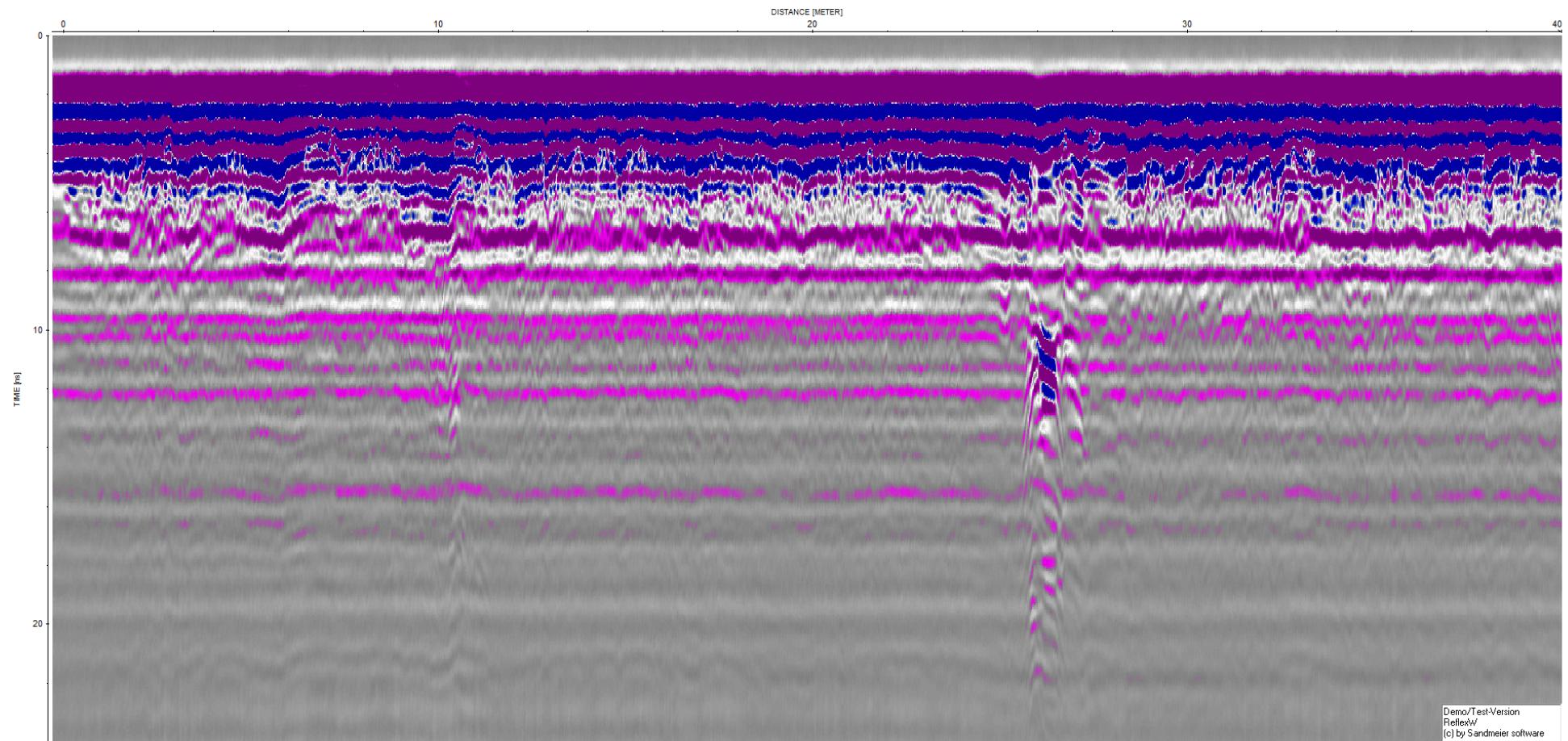
Вариант 14



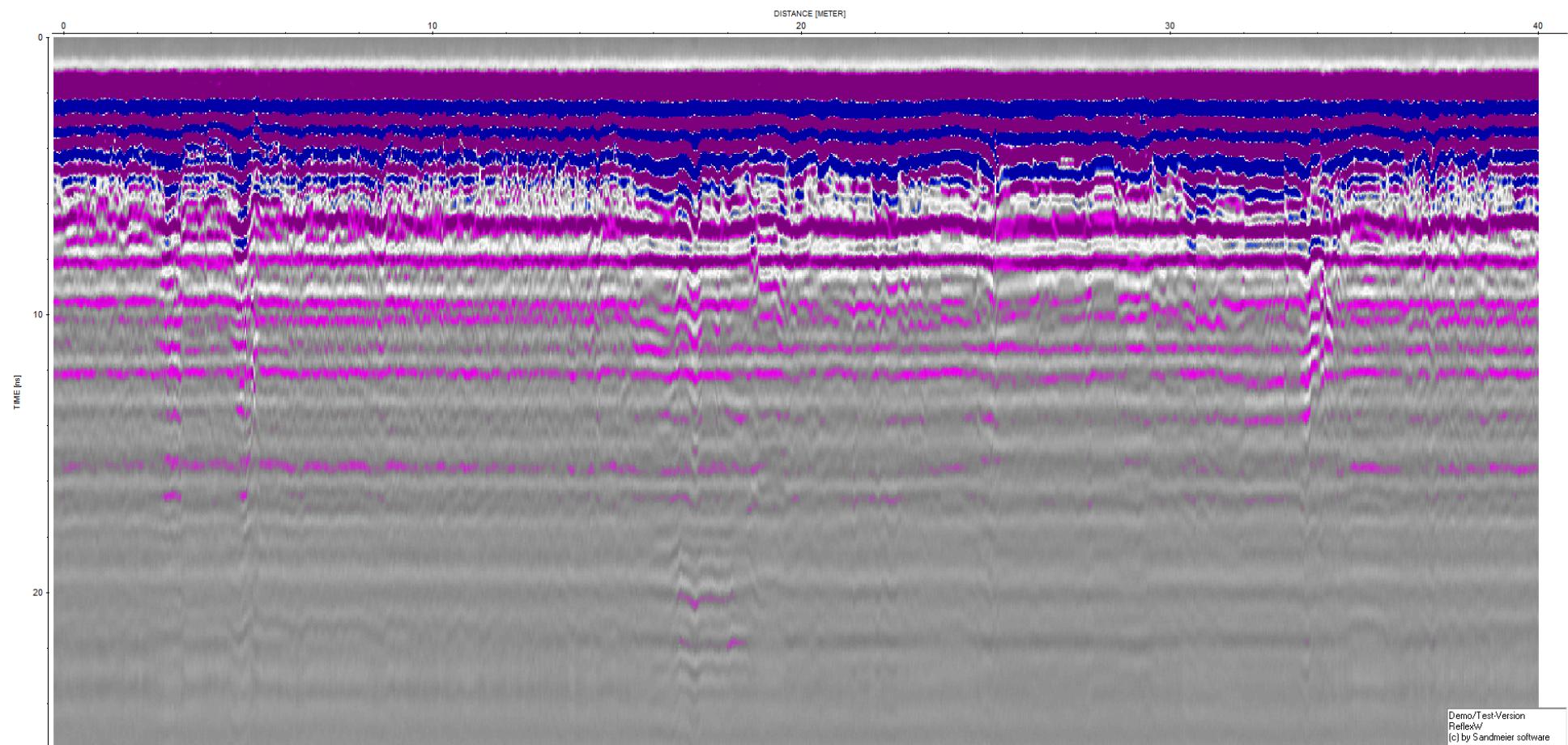
Вариант 15



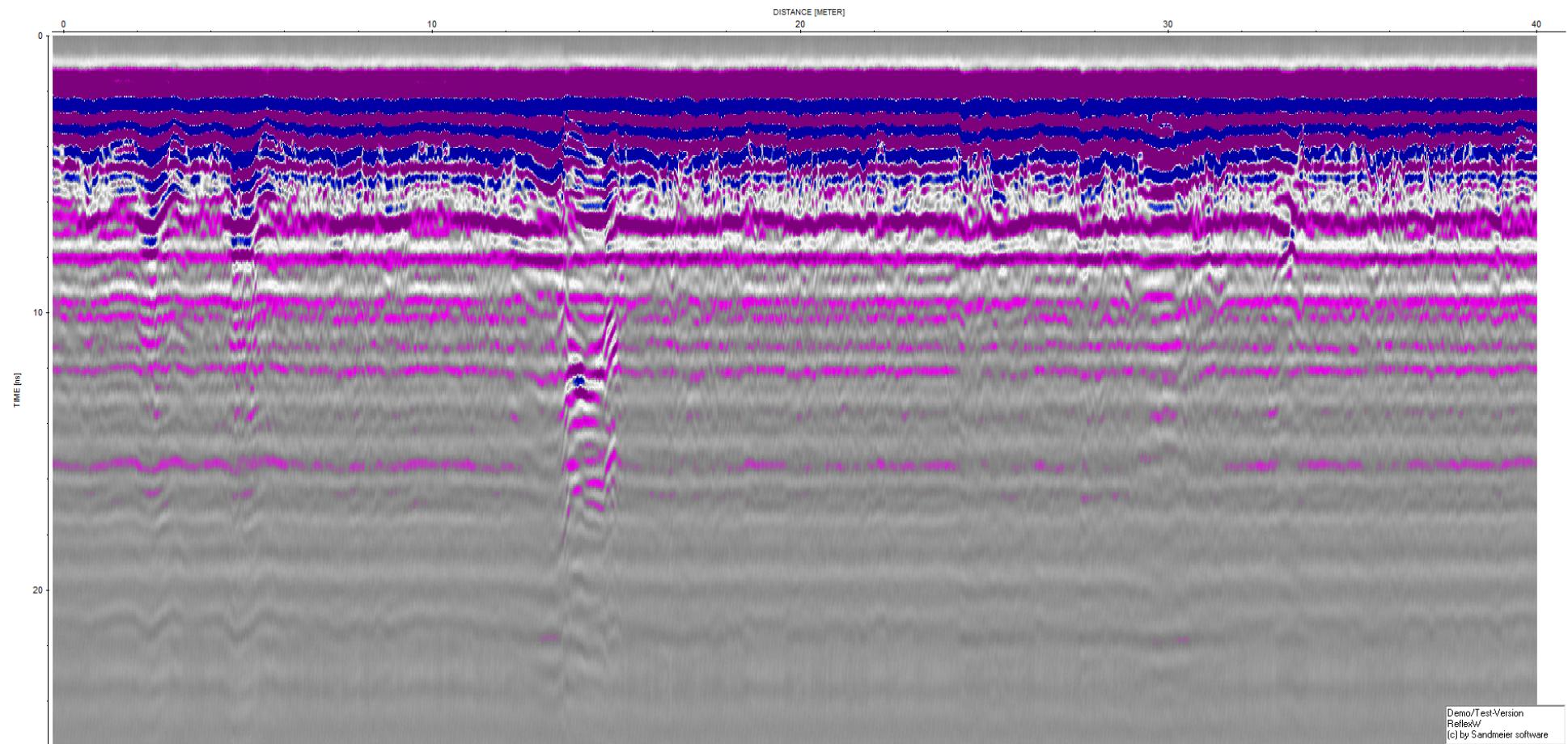
Вариант 16



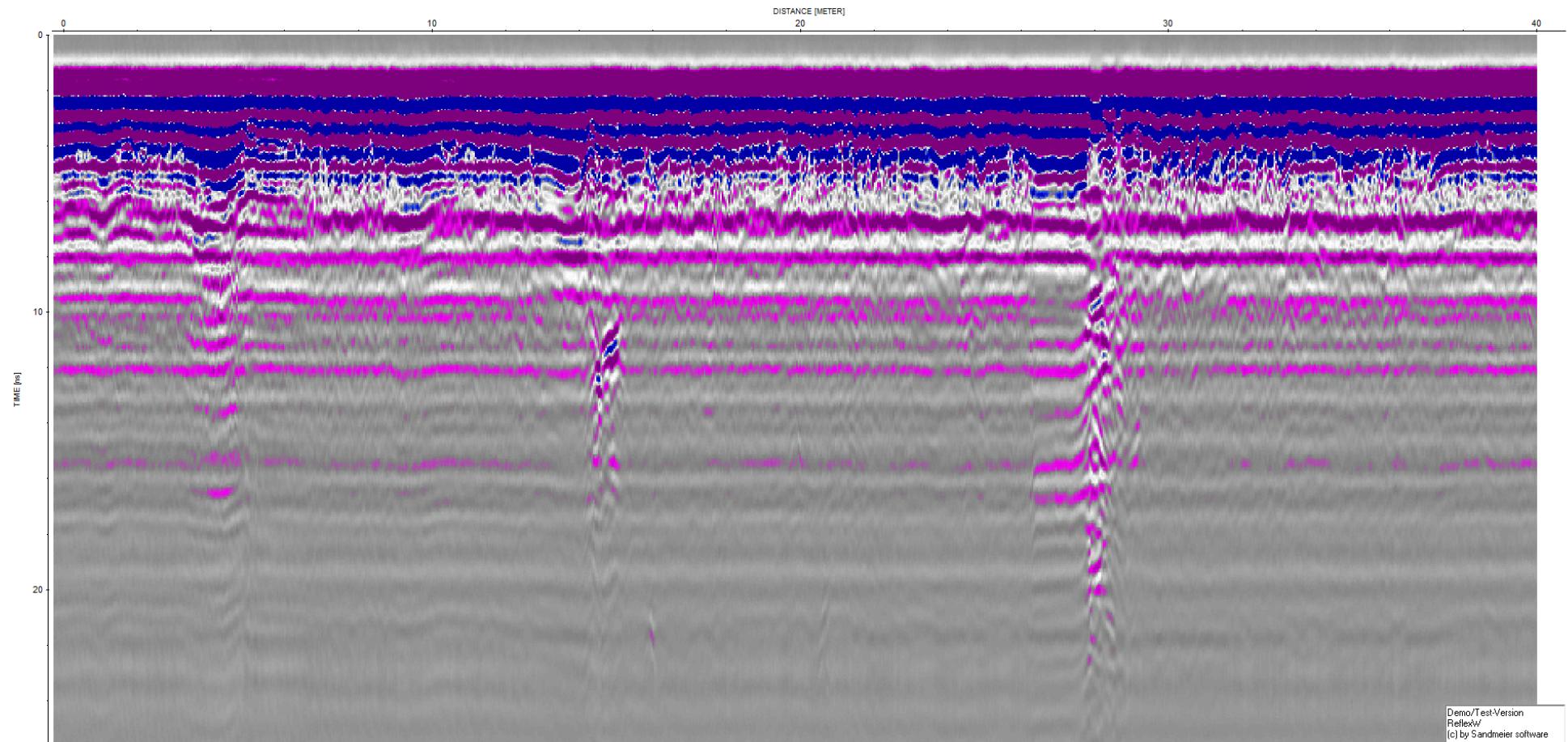
Вариант 17



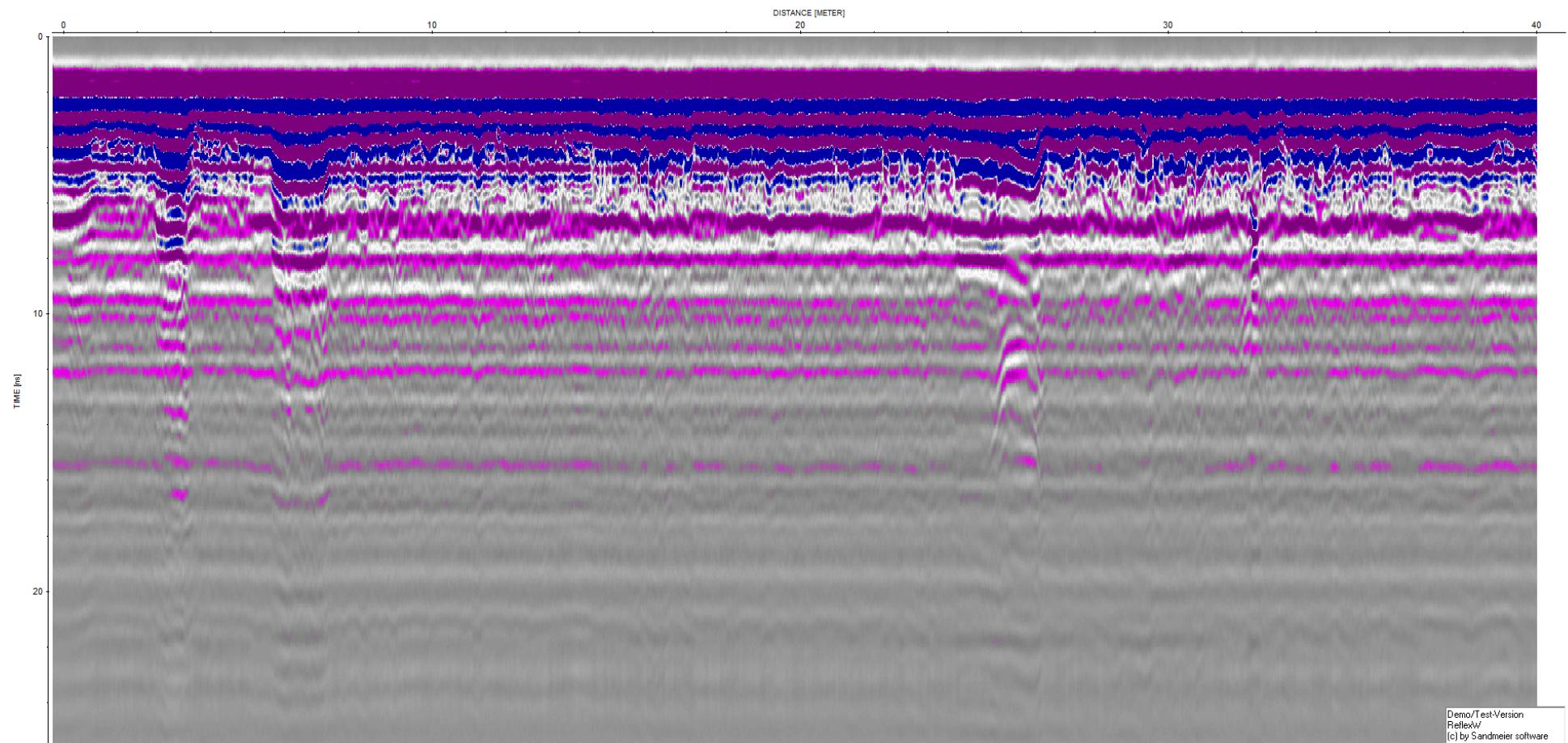
Вариант 18



Вариант 19



Вариант 20



Учебное издание

Насыртдинов Булат Мансурович
Фаттахова Лейсан Айдаровна
Хасанов Дамир Ирекович

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА
ЧАСТЬ 1. ГЕОРАДАРНАЯ СЪЕМКА И АРХЕОМАГНИТОРАЗВЕДКА

Учебно-методическое пособие