

УДК 550.834

**ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ
СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА
МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА**

Анциферов А. В., Туманов В. В., Юфа Я. М., Буждежан А. В.
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Рассмотрены возможности применения сейсморазведочных методов на базе анализа отраженных и преломленных волн при изучении сложных инженерно-геологических условий строительства тоннелей в дисперсных породах на примере возведения Кожуховской линии Московского метрополитена.

By the example construction of the Moscow metro line Kozhukhovskaya considered the possibility of forecasting methods of seismic refraction and reflection, as well as the method of seismic location, approach "quicksand" to the level of tunneling in dispersed rocks.

Большинство подземных сооружений требуют инженерно-геологических исследований на всех стадиях проектирования и строительства. Особенное значение их всестороннее и тщательное проведение имеет при строительстве тоннелей как сложных в строительстве и эксплуатации, дорогостоящих, часто уникальных сооружений. Относительно небольшие по протяженности тоннели, такие как коммунальные, метрополитена или другие транспортные (в том числе с технологическими трубопроводами), проектируются на относительно небольших глубинах, как в скальных, так и в дисперсных породах.

Сложность инженерно-геологических условий при строительстве тоннелей проявляется в виде разнообразных инженерно-геологических процессов и явлений, недостаточное и неполное

изучение которых может привести к возникновению значительных трудностей при строительстве.

По Г. С. Золотареву [1], виды, интенсивность развития, масштабы и другие особенности инженерно-геологических явлений, помимо конструктивно-строительных параметров подземного сооружения, определяются, главным образом, факторами геологической среды (закарстованность и трещиноватость вмещающих пород, их обводненность, тектоническая нарушенность, геоморфологические условия, развитие геологических процессов и т.п.).

Инженерно-геологическая съемка, предваряющая строительство тоннелей, помимо геологоразведочных работ, должна сопровождаться (особенно в сложных горно-геологических условиях) геофизическими исследованиями, с помощью которых может быть уточнен геологический разрез и выявлены неблагоприятные для строительства подземных сооружений явления (карст, зоны тектонических нарушений, другие ослабленные зоны и пр.).

Согласно [2], основными методами геофизического контроля в шахтах и тоннелях являются сейсмические и электрометрические.

Исследования с использованием некоторых модификаций этих методов были проведены при консультативном участии УкрНИМИ на участках строительства технологических тоннелей через горные хребты «Кобыла» и «Безымянный» в Краснодарском крае, а также дополнительного технологического тоннеля через Маркхотский хребет между нефтебазами «Грушовая» и «Шесхарис» в районе г. Новороссийска [3].

В качестве примера оценки перспективности методов сейсморазведки при изучении сложных инженерно-геологических условий строительства тоннелей в дисперсных породах рассмотрим строящуюся Кожуховскую линию Московского метрополитена.

Проходка тоннелей планируется в четвертичных суглинках с единичными линзами песка различной крупности. Сверху суглинки перекрываются четвертичными песками мелкими и пылеватыми, водонасыщенными. Под четвертичными суглинками залегают верхнеюрские отложения титонского яруса (J_3tt), пред-

ставленные в основном, суглинками тяжелыми, песчанистыми, тугопластичными, но в верхней части верхнеюрских отложений возможно присутствие плотных пылеватых водонасыщенных песков. На протяжении проектируемой Кожуховской линии наблюдается несколько размывов в породах юры и карбона, вероятно, связанных с тектоническими нарушениями, которые могут быть заполнены песками. Встреча проходкой обводненных песков («пывунов») чревата серьезными осложнениями технологии проходческих работ, вплоть до возникновения аварийных ситуаций.

С помощью геофизических наблюдений, сопутствующих проходке тоннелей, возможен своевременный прогноз приближения песков к уровню проходки.

Приближение песков к уровню проходки тоннеля как сверху, так и снизу, отслеживается профилированием вдоль стенки тоннеля вплоть до забоя с помощью КМПВ (корреляционный метод преломленных волн) (при $V_{\text{суглинков}} < V_{\text{песков}}$) или МОВ (метод отраженных волн) (при $V_{\text{суглинков}} > V_{\text{песков}}$). Принцип определения положения контакта песков с суглинками методом КМПВ основан на следующих предпосылках. Если скорости продольных волн в суглинках, по которым идет проходка тоннеля, меньше скорости продольных волн в песках ($V_{\text{суглинков}} < V_{\text{песков}}$), то на некотором расстоянии от пункта возбуждения волна, преломленная на контакте суглинков с наиболее близким к тоннелю пластом песков, выходит в первые вступления (рис. 1). Это дает возможность вычислить расстояние от линии профиля КМПВ, расположенного вдоль оси тоннеля, до рассматриваемого пласта песков, который может располагаться как выше, так и ниже уровня проходки тоннеля.

Допустим, ближайший к линии проходки пласт песков находится *выше* уровня проходки. В этом случае волна, преломленная на поверхности песков, залегающих *ниже* уровня проходки, не выйдет в первые вступления и будет интерферировать в последующих вступлениях с волной, преломленной на контакте суглинков с вышележащими песками (рис. 1а). При равных расстояниях до залегающих сверху и снизу песков волны, преломленные на контактах с вышележащими и нижележащими пес-

ками, будут взаимоподавляться. Если нижележащий пласт песка начнет приближаться к уровню проходки, и в некоторый момент расстояние до него станет меньше, чем расстояние до вышележащего пласта, волна, преломленная на его поверхности, выйдет в первые вступления, обогнав волну, преломленную на контакте суглинков с вышележащими песками. Определить, какая именно волна вышла в первые вступления, всегда можно путем сопоставления полярности данной волны с полярностью прямой волны. Таким образом, существует возможность однозначного определения расстояния до вышележащего и нижележащего пластов песка и своевременного прогноза приближения пласта песков к тоннелю.

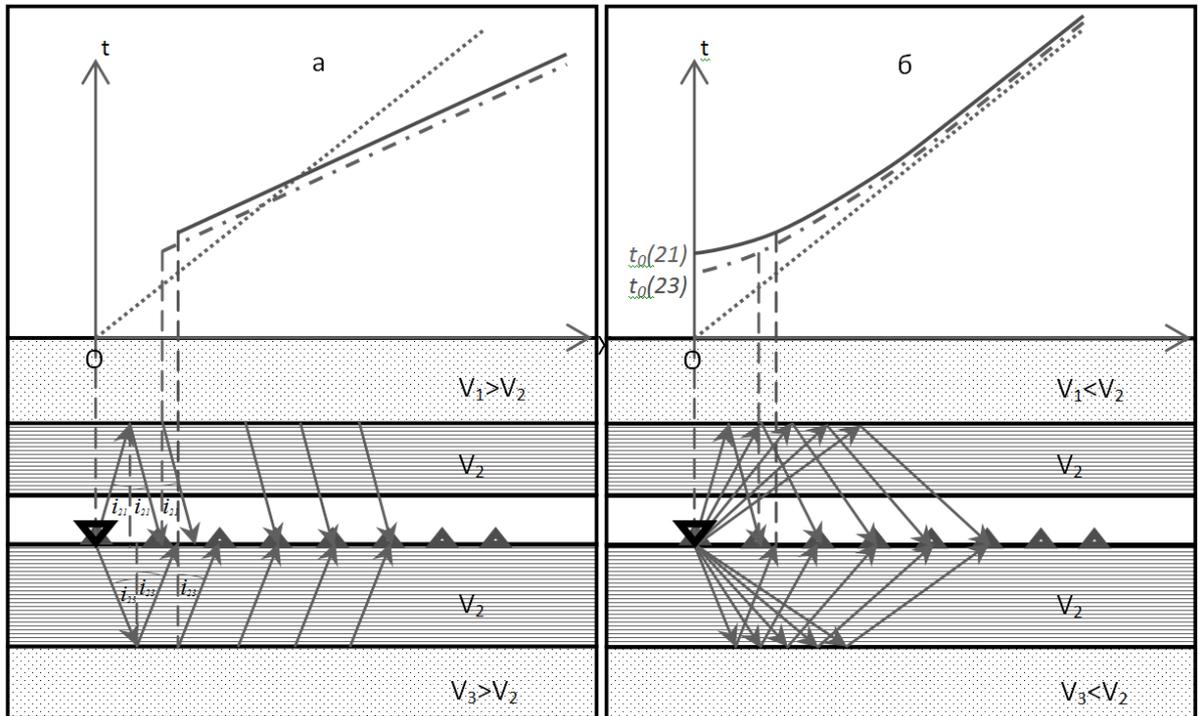
В случае если скорость продольных волн в суглинках, по которым идет проходка тоннеля, больше скорости продольных волн в песках ($V_{\text{сугл}} > V_{\text{песков}}$), головная волна на контакте суглинок-песок не образуется, и наблюдается только отраженная от данного контакта волна, годограф которой с расстоянием асимптотически приближается к годографу прямой волны, не пересекая его (рис. 1б). Все вышеприведенные соотношения между головными волнами, образующимися на контактах суглинков с вышележащими и нижележащими песками, справедливы и для отраженных волн.

Таким образом, прогноз приближения пласта песков к тоннелю возможен и по результатам интерпретации данных МОВ. Для наиболее точного построения отражающих границ (контактов суглинка - пески) предполагается использовать способ эллипсов или способ полей времен.

Вероятна возможность прослеживания преломленными и отраженными волнами поверхности пород карбона с целью выделения в них тектонических трещиноватых зон как потенциальных источников повышенной обводненности.

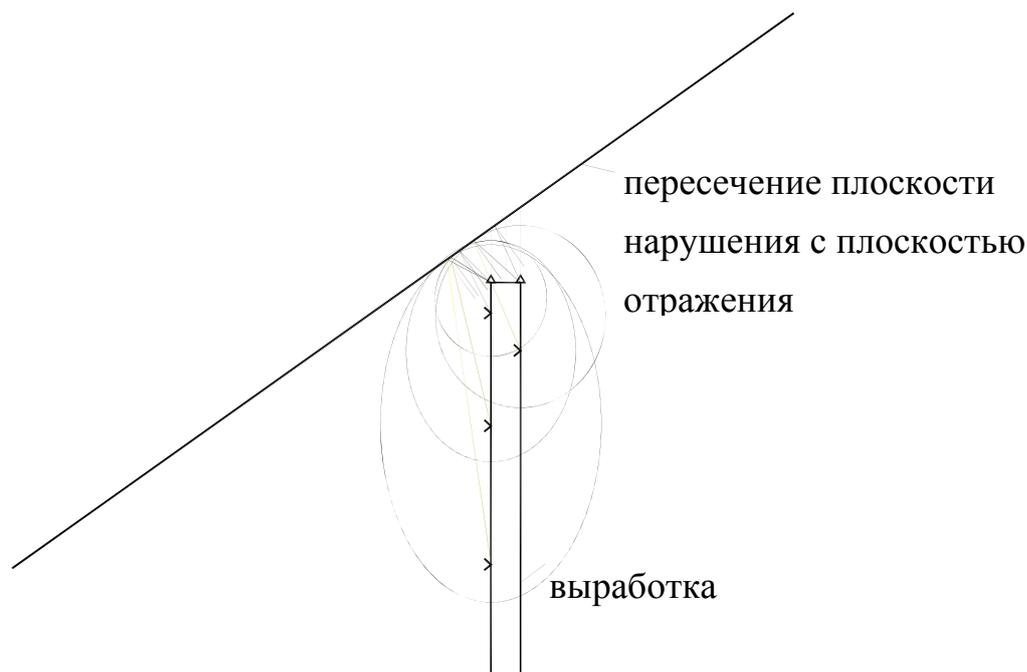
МОВ-МСЛ (метод сейсмолокации отраженными волнами) позволяет отслеживать приближение песков впереди забоя – чем больше угол приближения слоя, тем больше расстояние прогноза впереди забоя. Поскольку предполагается, что углы приближения границы песков к выработке не превышают $10^\circ - 15^\circ$, локация границы суглинок – песок возможна на относительно небольших

расстояниях - до первых десятков метров впереди забоя (рис. 2). Поэтому применение МОВ-МСЛ может быть наиболее эффективно в случаях, когда профилированием КМПВ (или МОВ) отмечено устойчивое приближение границы песков к выработке.



- пески;
 - суглинки; V_1, V_3 - скорости продольных волн в песках; V_2 - скорости продольных волн в суглинках; - тоннель; - пункт возбуждения колебаний; - сейсмоприемник; \searrow - лучи прямых, преломленных и отраженных волн; i_{21}, i_{23} - критические углы; \cdots - годограф прямой продольной волны; $-\cdot-\cdot-$ - годограф головной волны на контакте с вышележащими песками; \diagup - годограф головной волны на контакте с нижележащими песками; $-\cdot-\cdot-$ - годограф волны, отраженной от контакта с вышележащими песками; \diagdown - годограф волны, отраженной от контакта с нижележащими песками

Рис. 1. К обоснованию использования КМПВ при $V_{\text{сугл}} < V_{\text{песков}}$ (а) и МОВ при $V_{\text{сугл}} > V_{\text{песков}}$ (б)



▽ - пункт возбуждения; ▲ - пункт приема

Рис. 2. Схема сейсмолокации нарушения из выработки. Обработка способом эллипсов

Анализ сложных инженерно-геологических условий, возникших при возведении Кожуховской линии Московского метрополитена, показал определенную схожесть проблем, возникающих при прокладке тоннелей, с задачами, которые решаются с применением методов шахтной сейсморазведки. Детальный разбор примера прогноза приближения песков к уровню проходки с помощью сейсморазведочных методов обозначил возможность достоверного определения расстояния до их границ, что, в свою очередь, поможет избежать серьезных осложнений проходческих работ. Все вышеизложенное может свидетельствовать о высокой потенциальной перспективности расширения сферы использования методик сейсморазведки, характерных для исследования шахт. Также следует отметить, что использование сейсморазведочных методов целесообразно проводить комплексно, в конечном счете, анализируя массивы данных, полученных с помощью таких методов, как КМПВ, МОВ и МОВ-МСЛ. В таком случае

можно будет добиться максимальной релевантности обработанных результатов наблюдений.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Золотарев Г. С. Вопросы инженерно-геологических исследований для проектирования и строительства подземных сооружений в горно-складчатых областях // Тр. Гидропроекта. – 1974. – № 36.
2. Глушко В. Т. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях / Глушко В. Т., Ямщиков В. С., Яланский А. А. – М.: Недра, 1987. – 278 с.
3. Туманов В. В. Оценка условий строительства подземных линейных сооружений в горной части Краснодарского края геофизическими методами / Туманов В. В., Компанец А. И., Архипенко А. И. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2005. – № 1.