

3889

Министерство образования Российской Федерации  
Уральская государственная горно-геологическая академия

# ИЗВЕСТИЯ

Уральской государственной  
горно-геологической  
академии

СЕРИЯ:

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

Вып. 10. 2000

Екатеринбург

**ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
ИЗВЕСТИЙ УРАЛЬСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ**

Академик АЕН РФ, проф. И.В. Дементьев (главный редактор)

Проф. В.П. Алексеев, доц. Т.П. Бебенина, проф. О.Н. Грязнов (зам. гл. редактора),  
проф. Э.С. Лапин, доц. Ю.И. Лель, проф. М.Б. Носырев, проф. В.М. Сапожников,  
Л.В. Устьянцева (ответственный секретарь), проф. В.С. Хохряков

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ: ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА**

Проф. В.П. Алексеев (ответственный редактор)

Проф. А.Г. Баранников, проф. В.И. Бондарев, проф. А.В. Давыдов, проф. В.А. Душин, проф. Э.Ф. Емлин,  
доц. И.В. Абатурова (ответственный секретарь), проф. В.М. Сапожников (зам. ответственного редактора)

4. Зеликман А.Н., Вольдман Г.М., Белявская Л.В. Теория гидрометаллургических процессов. - М.: Металлургия, 1975. - 504 с.
5. Киргинцев А.Н., Трушников Л.Н., Лаврентьев В.Г. Растворимость неорганических веществ в воде. - Л.: Химия, 1972. - 248 с.
6. Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрохимия. - М.: Недра, 1992. - 463 с.
7. Рекомендации по проведению гидрохимического опробования и физико-химических исследований для оценки загрязнения подземных вод ЛНИИС - М.: Стройиздат, 1986. - 32 с.

УДК 624.131

Э.И.Афанасиади, В.В.Бодин, О.Н.Грязнов, С.Г.Дубейковский, О.Б.Нещеткин

## ИЗУЧЕНИЕ, ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ЗАКАРСТОВАННОСТИ КАРБОНАТНЫХ МАССИВОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАСС

При обосновании мероприятий по безопасному движению железнодорожного транспорта на закарстованных территориях следует учитывать особенности геотехнической системы "карбонатный массив - железная дорога". Главной проблемой в этих условиях является пространственно-временной прогноз развития карстовых провалов в зоне полотна железной дороги. Опыт наших работ, выполненных по заданию и при финансовой поддержке НПЦ КАРСТ на 94 км железной дороги Екатеринбург - Каменск-Уральский, позволяет рекомендовать рациональное сочетание карстологической съемки и сейсмических методов исследования.

В геоморфологическом отношении трасса железной дороги проходит по равнинной местности с глубоко врезанной долиной р. Каменки - левого притока р.Исети. В геологическом строении площади принимают участие карбонатные отложения каменноугольного возраста, мезозойская кора выветривания и платформенные осадки нижнего мела - голоцена.

В основании разреза залегают органогенные, слабо битуминозные известняки верхнего подъяруса визейского яруса нижнего карбона. Хорошо обнаженные в скальных выходах борта долины р.Каменки и Синарского карьера известняки представлены массивными, участками шламово-детритусовыми, оолитовыми, комковатыми, реже слоистыми разностями с многочисленными линзовидными включениями кремней. Общая мощность толщи 300-500 м.

Складчатые дислокации в массиве известняков выразились в развитии системы сопряженных антиклинальных и синклинальных симметричных складок близмеридионального - северо-восточного простирания с наклоном крыльев в западных и восточных румбах под углами 40-45 и 45-50°. В известняках фиксируется активная трещиноватость, представленная сочетанием литогенетических, тектонических и экзогенных трещин. В группе литогенетических трещин преобладают системы близмеридиональных трещин с отклонением к северо-востоку и северо-западу. Первые характеризуются более широким распространением с вариациями азимутов падения 270-280° при пологих (25°), средних (45-50°) и крутых (70-85°) углах падения. С трещинами 3-С3 падения сопряжена система крутых (70°) трещин ЮВ падения. Системы трещин С-С3 простирания различаются крутым (65-70°) падением на 3-ЮЗ и крутым (75°) СВ падением. Подчиненное значение имеют системы субширотных - северо-западных трещин при пологом падении к югу под углом 40° (согласные со слоистостью) и субширотных - северо-восточных трещин с падением на ЮВ 150° под углом 55°. Сочетание названных систем трещин при развитии эрозионно-гравитационных процессов формируют крупноглыбовые вывалы, а процессы

выщелачивания - образование карстовых полостей и трещин. В верхней части обнаженного массива известняков в зоне экзогенной трещиноватости на глубину 3-5 м развивается щебнисто-глыбовый элювий.

Стратиграфически выше известняков залегают глинистые сланцы и мелкозернистые песчаники на известковистом цементе, относимые к московскому ярусу среднего карбона. Длительный континентальный перерыв, установившийся на Урале с позднего палеозоя до наступления верхнемеловых морских трансгрессий, способствовал формированию мощных кор выветривания на породах складчатого фундамента. Наибольшее развитие получили мезозойские коры выветривания. Олигоценные коры были маломощными и существенно уничтожены эрозией и денудацией. Миоценовое выветривание очень редко фиксируется в виде красноцветных дресвяно-щебнистых образований на поверхности палеозойских горных пород и мезозойского элювия. В палеоценовое и четвертичное время выветривание выразилось в образовании дресвяно-щебнистого элювия.

Кора выветривания распространена неравномерно и имеет невыдержанную мощность от 0 до 140 м. Выделяются остаточные и перемещенные, площадные и линейные (трещинные, контактные) коры выветривания. Остаточные коры на известняках имеют незначительные мощности. Перемещенные коры выветривания развиты локально на тектонически осложненных контактах алюмосиликатных и карбонатных пород, имеют элювиально-делювиальное происхождение, представлены бесструктурным гидрослюдистым либо каолинит-гидрослюдистым глинистым материалом с обломками окружающих палеозойских пород. Меловые отложения заполняют понижения в рельефе палеозойского фундамента при мощности от 3 до 30 м, в отдельных случаях до 100 м.

Четвертичные отложения представлены континентальными осадками плейстоцена и голоцена, характеризуются значительной пестротой литологического состава, быстрой сменой фаций, мощностей, невыдержанностью залегания. Генетически они принадлежат ледниковым, элювиально-делювиальным, озерно-болотным и аллювиальным отложениям - песчано-гравийным, галечниковым, суглинкам, глинам при участии сапропеля, торфа.

В гидрогеологическом отношении площадь охватывает пограничную область открытых структур Большеуральского бассейна трещинных вод и Западно-Сибирского (Тобольского) артезианского бассейна пластовых вод. По геологическим условиям образования здесь установлены трещинно-грунтовые, трещинно-жильные, трещинно-пластовые и трещинно-карстовые подземные воды.

В массиве трещиноватых карбонатных пород нижнего карбона и отчасти в перекрывающих терригенно-карбонатных отложениях среднего карбона под влиянием просачивающихся через зону аэрации атмосферных осадков, вод поверхностного стока, фильтрующихся подземных вод достаточно активно происходит растворение и выщелачивание карбонатных пород, развитие карстового и суффозионного процессов. Водосборной артерией поверхностного стока и дренажной подземного стока рассматриваемой площади служит долина р. Каменки. В активизации карстово-суффозионных процессов существенную роль играют техногенные факторы - наличие полотна железной дороги, ее конструкция и технология строительства, нагрузка железнодорожных составов на систему "насыпь - карбонатный массив", режим движения поездов и др.

На этом участке периодически отмечается образование провалов в теле земполотна и в разрезе железной дороги (1937, 1942, 1961-1962, 1997 гг.), которые иногда формируются катастрофически быстро. Карстующимися породами здесь являются визейские известняки. Карстологической съемкой, выполненной в полосе отвода железной дороги шириной по 100 м по обе стороны от железнодорожного полотна на протяжении 1,5 км, установлено свыше 90 поверхностных карстовых проявлений - воронок, впадин, западин, логов. При их изучении фиксировались: форма в плане и разрезе, площадные размеры и глубина, направление длинных и коротких осей, характер бровки, склонов, крутизна, степень задернованности, растительность,

форма дна и его заболоченность, наличие воды, поглощающих поноров, происхождение и возраст карстовых форм. При описании известняков оценивалась их трещиноватость.

Геофизические методы исследований широко используются при изучении карстовых процессов. На описываемом участке в 1963 г. институтом Уралгипротранс были выполнены комплексные изыскания с применением геофизических исследований. Они включали:

- вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) по двум профилям;
- электрическое симметричное профилирование по трем профилям;
- магнитное профилирование по двум профилям;
- круговые ВЭЗ.

Выполненные работы позволили установить геоэлектрический разрез, строение которого свидетельствовало об устойчивости земляного полотна железной дороги. Однако последующие деформации полотна определили необходимость использования для оценки закарстованности других методов исследований.

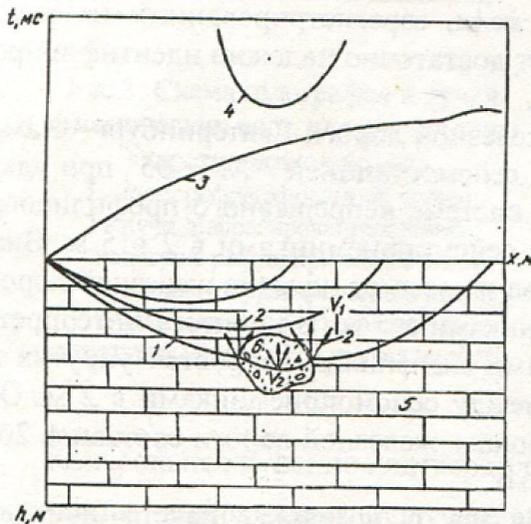


Рис.1. Схема географов и лучей сейсмических волн для случая одиночной карстовой полости:  
 1 - лучи рефрагированной волны;  
 2 - лучи дифрагированной волны;  
 3 - географ рефрагированной волны;  
 4 - географ дифрагированной волны;  
 5 - известняки; 6 - наполнитель карстовой полости

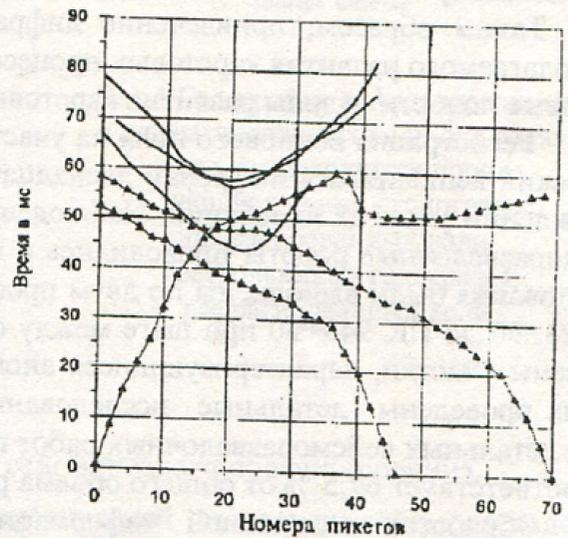


Рис.2. Географы рефрагированных и дифрагированных волн для случая одиночной карстовой полости. Сплошная линия - географы дифрагированных волн, треугольники - географы рефрагированных волн

Нами одновременно с карстологической съемкой применен сейсмический метод исследований как ведущий при решении поставленных задач. Целесообразность применения обусловлена возможностью быстрого получения значительного аномального эффекта уменьшения скорости упругой волны при наличии в известняках полости. Причем полость может быть заполнена супесчаным или глинистым материалом, воздухом или водой. Для обнаружения и изучения закарстованности сейсмическим методом ранее использовались косвенные признаки в волновом поле: резкое уменьшение скоростей продольных и поперечных волн, изменение частотного состава сейсмических волн, искаженная форма географов и увеличение затухания колебаний. Поскольку указанные признаки могут быть вызваны не только карстовыми проявлениями, необходим более надежный и однозначный признак выделения закарстованности. С

этой целью использовались дифрагированные волны\*, генерированные карстовыми полостями или зонами закарстованности пород.

В основу сейсмогеологической модели были положены два типа геологического разреза. Первый содержит изолированную карстовую полость, которая является сильным дифрагирующим объектом (рис.1). Данной модели среды соответствует годограф рефрагированной или преломленно-рефрагированной волны и одиночный годограф дифрагированной волны. Причем наложение точки дифракции не зависит от координат пункта возбуждения (рис.2).

Вторая модель представляет собой зону развития карстового процесса, размеры которой могут в несколько раз превосходить размеры одиночной карстовой полости (рис.3). В этом случае дифрагирующими объектами являются скоростные неоднородности, случайным образом расположенные в зоне карстующихся пород, и контакты сильно трещиноватых пород с монолитными. Случайное расположение дифрагирующих объектов приводит к тому, что координаты годографов дифрагированных волн могут зависеть от положения пунктов возбуждения (рис.4).

Таким образом, привлечение дифрагированных волн, зарегистрированных на участках предполагаемого развития карстовых процессов, позволяет достаточно надежно идентифицировать карстовые полости и зоны развития карстовых процессов.

Регистрация волнового поля на участке 94-1 км железной дороги Екатеринбург - Каменск-Уральский выполнялась цифровой двенадцатиканальной сеймостанцией "Агат-05" при ударном возбуждении упругих колебаний. Наблюдения велись по системе непрерывного профилирования. Сейсморазведочные работы проводились с шагом между сейсмоприемниками в 2 и 5 м. Вначале исследования были выполнены по двум профилям - справа и слева от полотна железной дороги от ПК-928+90 до ПК 943+90 при шаге между сейсмоприемниками в 5 м. В процессе интерпретации выявлены участки, характеризующиеся аномально низкими значениями скоростей упругих волн. На них проведены детальные исследования с шагом между сейсмоприемниками в 2 м. Общая длина детальных сейсморазведочных работ по обеим сторонам железной дороги составила 2025 м, что соответствует 67,5 % от общего объема работ (3000 п.м).

Обработка полученной информации осуществлялась с помощью пакета прикладных программ, разработанных в Уральской государственной горно-геологической академии и Институте геофизики УрО РАН. Выполненные сейсморазведочные работы позволили становить характер скоростного разреза по обе стороны от железной дороги и выделить участки развития карстовых полостей и закарстованных зон, непосредственно примыкающих к железнодорожному полотну. Эти участки были привязаны к пикетажу железной дороги и нанесены на план.

Важное значение для оценки карстоопасности имеют глубина залегания поверхности карстующихся пород, мощность, строение и состав перекрывающей толщи. С целью решения этих вопросов в процессе обработки годографов были построены вертикальные скоростные разрезы. На них по скоростям продольных волн выделены горные породы с различными упругими параметрами:

- элювиально-делювиальные отложения, характеризующиеся скоростью продольных волн от 300 до 800 м/с;
- выветрелые известняки со скоростью продольных волн от 1000 до 1800 м/с;
- трещиноватые известняки со скоростью от 2000 до 4000 м/с;
- монолитные известняки со скоростью продольной волны более 4000 м/с.

---

\* Старобинец А.Е. Выделение и интерпретация дифрагированных и квазидифрагированных волн. - М.: Недра, 1988. - 199 с.

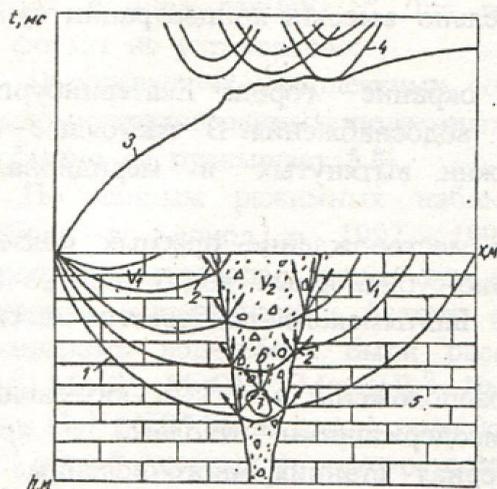


Рис.3. Схема годографов и лучей сейсмических волн для случая зоны карстующихся пород:  
 1 - лучи рефрагированной волны;  
 2 - лучи дифрагированной волны;  
 3 - годограф рефрагированной волны;  
 4 - годограф дифрагированной волны;  
 5 - известняки; 6 - заполнитель карстовой полости; 7 - пустая полость

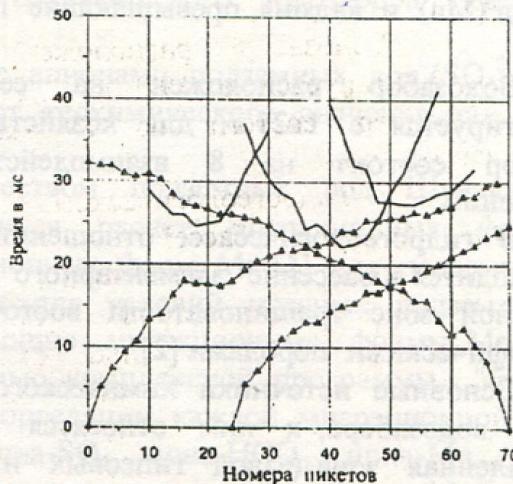


Рис.4.Годографы рефрагированных и дифрагированных волн для случая зоны карстующихся пород. Сплошная линия - годографы дифрагированных волн, треугольники - годографы рефрагированных волн

Контрольное бурение подтвердило результаты сейсмического профилирования.

Анализ информации, полученной при карстологической съемке и сейсморазведочных работах, позволил установить закономерности пространственного распространения карстопоявлений, вскрыть природные и техногенные факторы, определяющие развитие карстового процесса, предложить методику изучения и оценки закарстованности карбонатных массивов железнодорожных трасс, выделить карстоопасные зоны, требующие выполнения тампонажных работ.

УДК 556.388(575.11)

Л.П.Парфенова, Ю.С.Меньшикова

### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА МИГРАЦИИ МАРГАНЦА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ШУВАКИШСКОГО ВОДОЗАБОРА

Проблема загрязнения подземных вод на водозаборных сооружениях актуальна в последние несколько десятилетий. Пути решения этой проблемы для каждого водозабора индивидуальны, но без оценки процессов миграции основных элементов - загрязнителей они не будут полными.