

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТРАТИФИКАЦИИ СКАЛЬНОГО МАССИВА

**ТАГИЛЬЦЕВ С.Н.**

Профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии факультета геологии и геофизики Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, д-р техн. наук

**ЛУКЬЯНОВ А.Е.**

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, luk\_alex@inbox.ru

## Ключевые слова:

скальный массив, поинтервальное опробование глубоких скважин, проницаемость, тектонические напряжения, гидрогеологическая стратификация.

## Key words:

crystalline massif, selective flow test of deep wells, permeability, tectonic stress, hydrogeological stratification.

## Аннотация

Поинтервальное гидрогеологическое опробование глубоких скважин показало, что в пределах относительно однородного массива скальных пород Петропавловского рудного поля (Южный Урал) выделяется несколько водоносных горизонтов, разделенных относительно водоупорными горизонтами и слоями. Водоносные горизонты определяются по разности фильтрационных свойств, различию химического состава подземных вод и перепаду напоров. Исследования показали, что положение водоносных горизонтов не связано с изменением петрографического состава пород. Гидрогеологическая стратификация скального массива связана с закономерным изменением геометрии проницаемого трещинного пространства с глубиной. Проницаемое трещинное пространство возникает в результате деформации скального массива под действием современных тектонических сил. Таким образом, современное напряженное состояние является определяющим фактором при формировании фильтрационной структуры скального массива.

## Abstract

The selective flow test of deep wells has indicated that in relatively homogeneous rock massif of Petropavlovsk ore field (the Southern Urals) several aquiferous strata are separated by water resistant strata. The aquiferous strata were marked out by the difference of filtration characteristics of rocks, the difference of chemical composition of ground water and head drop in the difference interval sampling. The research showed that the location of aquiferous strata is non-connected with the change of petrographical composition of rocks. The hydrogeological stratification of the rock massif is connected with well-formed change of geometry of fracture void space according to the depth. The fracture void space is formed as a result of deformations of the rock massif under the influence of contemporary tectonic stresses. Thus, the contemporary deflected mode is the most important factor in forming the permeability of the rock massif.

Скальные горные породы по своей несущей способности являются наиболее благоприятным основанием для возведения инженерных сооружений. Однако в большинстве случаев устойчивость массивов таких пород определяется не значением их прочности (которое устанавливается по отдельным образцам), а наличием дизъюнктивных нарушений различного порядка, к которым относятся трещины и тектонические разломы.

Среди инженер-геологов до сих пор сохраняется мнение, что проницаемость скальных пород формируется преимущественно за счет экзогенных факторов, фильтрационные свойства распространены на глубину не более 100–200 м, а происхождение трещин связано с древними эпохами образования скальных массивов. Однако результаты гидрогеологических исследований на территории Среднего и Южного Урала показывают, что определяющим фактором при формировании проницаемости скальных пород является современное напряженно-деформированное состояние земной коры [1, 2, 4, 5]. Тектонические напряжения приводят к образованию массовых трещин, возраст которых примерно соответствует возрасту рельефа и, вероятнее всего, не превышает 200 тыс. лет. Глубина распространения проницаемых трещин, как правило, превышает 300–400 м [5].

По мнению ряда современных авторов, тектонические напряжения распространены в земной коре повсеместно, а вектор главного максимального напряжения имеет горизонтальную ориентировку [1–6]. Скальные массивы, обладая высокой прочностью, способны выдерживать высокий уровень тектонических напряжений. При этом силы, связанные с весом горных пород, как правило, приобретают подчиненное положение уже с глубины в несколько десятков метров. Под действием тектонических сил происходят подвижки вдоль активных разломов, образование и раскрытие трещин.

Проницаемость скального массива для воды связана с наличием открытых трещин и поэтому практически полностью зависит от его современного напряженного состояния. Фильтрационные свойства скальных пород, анизотропия этих свойств, наличие зон повышенной проницаемости и направление движения подземных вод в глубоких горизонтах могут служить индикаторами современного напряженного состояния. Изменения этого состояния с глубиной приводят к неравномерному развитию проницаемых трещин



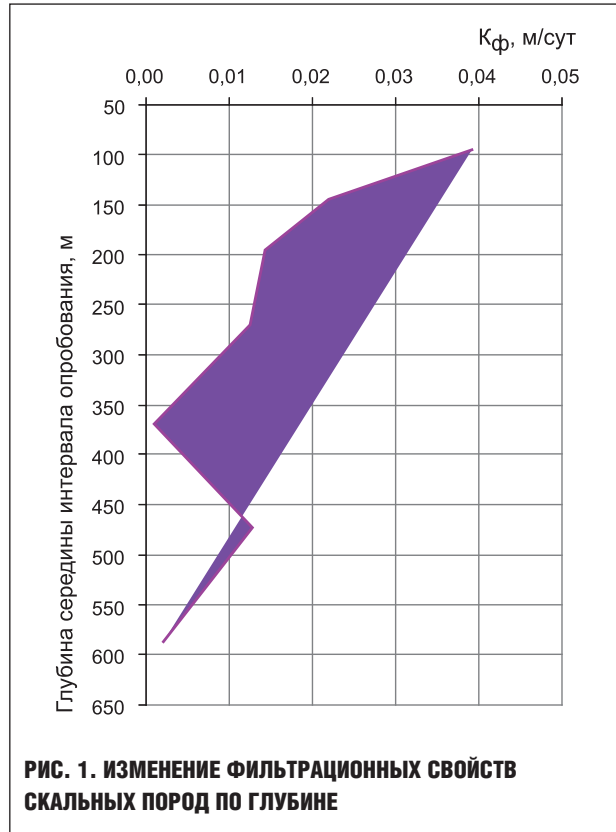
в геологическом разрезе. Закономерности развития фильтрационных свойств массивов скальных пород рассматриваются в рамках научного направления «Гидрогеомеханика скальных массивов» [5].

Гидрогеологические исследования в скальных породах имеют определенную специфику и зависят от исходных георетических представлений о свойствах проницаемой трещинной среды. Проницаемость скальных массивов для воды определяется не общей трещиноватостью, а наличием открытых трещин, которые при этом не могут существовать в раскрытом состоянии длительное время: геодинамическое и геостатическое давление, осаждение минеральных солей и глинистых частиц способствует их закрытию. Для наличия фильтрационных свойств необходимо постоянное обновление старых или образование новых трещин, т.е. необходима непрерывная деформация скального массива под воздействием тектонических сил.

Современное напряженное состояние приводит к деформациям скальных пород и, как следствие, формирует проницаемое трещинное пространство. Проницаемость скальных массивов зависит от трех основных характеристик: количества открытых трещин, степени их раскрытия и степени их взаимосвязи. Чем больше раскрытие трещины, тем выше ее водопроницаемость (кубическая зависимость), поэтому фильтрационные свойства массива определяются в основном степенью раскрытия основных водопроницающих трещин, пространственное расположение которых и обуславливает фильтрационную и гидродинамическую структуру данного скального массива.

Для формирования протяженных водоносных горизонтов должна существовать развитая сеть взаимосвязанных трещин. Нередко водопроницаемость водоносного горизонта может определяться одной устойчивой траекторией фильтрации воды в сложном трехмерном лабиринте. Закрытие какой-либо одной водопроницающей трещины может нарушить эту траекторию. При этом на первый план могут выступить другие траектории движения, ранее занимавшие подчиненное положение. В целом водопроницаемость такой системы зависит от величины раскрытия и скорости фильтрации воды в точках пережима.

Вышесказанное убеждает в том, что проницаемое пространство скальных массивов является сложной динамической системой. Напряженное состояние, вызывая деформации горных пород, полностью контролирует изменение ос-

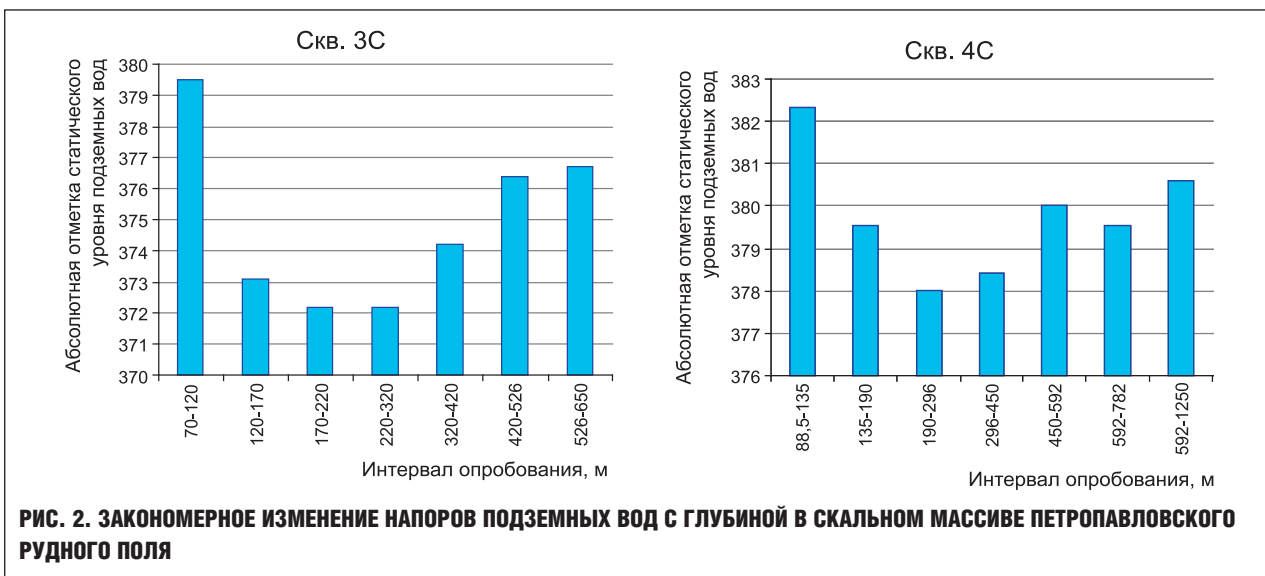


**РИС. 1. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ПО ГЛУБИНЕ**

новных характеристик трещинного пространства. Проводящие трещины в пределах водоносных горизонтов нестабильны и подвижны. Современное тектоническое воздействие является основным фактором при формировании гидродинамической структуры скального массива.

В результате изучения трещиноватости и проницаемости на ряде месторождений Среднего Урала было установлено *изменение фильтрационных свойств с глубиной* в относительно однородных по петрографическому составу массивах скальных пород [4, 5]. Результаты исследований, проведенных в последние годы, позволяют уточнить представления о *гидрогеологической стратификации скальных массивов*.

В 2007–2008 гг. на территории Петропавловского рудного поля в Республике Башкортостан были выполнены инженерно-геологические изыскания под проектируемые шахтные стволы. В задачу исследований входило в том числе опреде-



**РИС. 2. ЗАКОНОМЕРНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАПОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ГЛУБИНОЙ В СКАЛЬНОМ МАССИВЕ ПЕТРОПАВЛОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

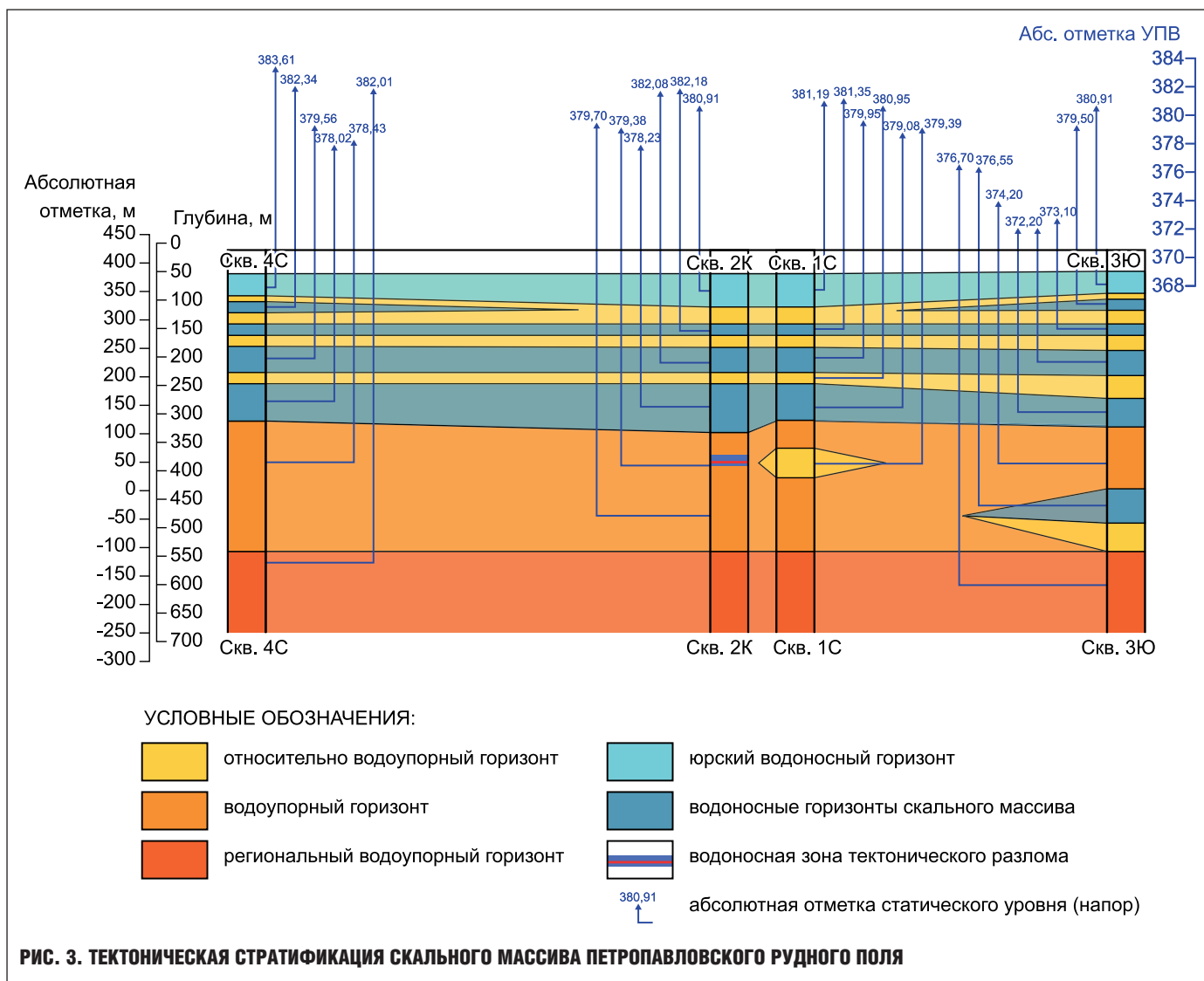


РИС. 3. ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ СКАЛЬНОГО МАССИВА ПЕТРОПАВЛОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

ление фильтрационных свойств скальных пород и расчет прогнозных водопритоков в подземные выработки.

Петропавловское рудное поле имеет сложное геологическое строение. В верхней части разреза (до глубины 80–100 м) залегают рыхлые осадочные отложения юрского возраста, представленные глинами, песками пылеватыми и заглинизированными галечниками. Под юрскими отложениями залегают скальные породы палеозойского возраста. Скальный массив сложен лавами и туфами основного, среднего и кислого состава. В разрезе присутствуют также гидротермально измененные породы. Предполагается, что в скальном массиве получил развитие единый палеозойский водоносный горизонт.

Инженерно-геологические исследования показали, что, несмотря на существенные различия в петрографическом составе, вулканогенные, вулканогенно-осадочные и метаморфические породы имеют близкие прочностные и деформационные характеристики. В соответствии с ГОСТ 25.100-95 «Грунты. Классификация» все скальные породы Петропавловского рудного поля были отнесены к категории прочных и очень прочных. Это означает, что по своим геомеханическим показателям данный скальный массив может рассматриваться как однородный.

Напряженное состояние скального массива можно охарактеризовать через ориентировку трех осей главных нормальных напряжений. Главное минимальное напряжение в приповерхностной части земной коры, как правило, дей-

ствует вертикально [1–6]. Тектоническое напряженное состояние характеризуется рядом показателей. Для определения ориентировки осей главных напряжений, действующих в скальном массиве Петропавловского рудного поля, применялись методы геолого-структурного и геомеханического анализа [1, 2], в основу которого положено представление, что трещины и разломы являются своего рода записью поля напряжений, под действием которого они образовались. Для исследованного скального массива были проанализированы круговые диаграммы трещиноватости, построенные на основании более чем 1000 замеров пространственной ориентировки трещин. Одновременно был проведен анализ роздиаграмм, построенных по данным пространственной ориентировки тектонических нарушений. Результаты геомеханического и геолого-структурного анализа показали, что главное максимальное напряжение на территории Петропавловского рудного поля имеет субширотную ориентировку и два основных направления воздействия с азимутами 260 и 285° [1, 2].

На территории Петропавловского рудного поля, в 100 км южнее г. Сибай располагается медно-колчеданное месторождение «Юбилейное» — одно из крупнейших в России. Месторождение включает 6 рудных залежей. Основными компонентами руды здесь являются медь, цинк, сера, золото и серебро. В настоящее время разработка идет открытым способом (действующий карьер достиг глубины 150 м). Одновременно планируется строительство подземного рудника.



В районе данного месторождения были проведены гидрогеологические исследования с помощью 4 глубоких контрольно-стволовых инженерно-геологических скважин (глубиной 650, 1250 и две по 1350 м) путем поинтервального опробования. Длина интервалов составляла 50 м в кровле скального массива и до 100–150 м на глубине более 200 м. Опробование показало закономерное изменение фильтрационных свойств с глубиной (рис. 1). Максимальные фильтрационные свойства наблюдались в кровле скального массива на глубине 100–200 м. Вниз по разрезу они постепенно снижались. На глубине 300–350 м был выделен водоупорный горизонт. На глубине 350–450 м фильтрационные свойства, как правило, вновь возрастали. Региональный водоупорный горизонт фиксировался по окончательному падению этих свойств на глубине 530 м. Необходимо отметить, что закономерное чередование проницаемых и водоупорных зон неизменно повторялось в разрезе каждой инженерно-геологической скважины. Глубина залегания водоносных и водоупорных горизонтов оставалась постоянной независимо от особенностей геологического строения разреза.

Изначально предполагалось, что все трещинные воды в пределах исследованного скального массива относятся к приповерхностному палеозойскому водоносному горизонту, обладающему единым уровнем подземных вод. Однако изучение положения статических уровней показало, что для всех 4 инженерно-геологических скважин напоры подземных вод существенно изменяются в зависимости от глубины (рис. 2). Максимальные напоры наблюдались в кровле палеозойских пород в интервалах глубин от 100 до 200 м. Вниз по разрезу они снижались. Минимальные напоры были зафиксированы на глубине 240–310 м. Глубже 310 м они вновь начали

## ВЫВОДЫ ИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕТРОПАВЛОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Напряженное состояние является основным фактором, который влияет на проницаемость скальных пород и формирует тектоническое расслоение скального массива Петропавловского рудного поля на ряд выраженных в гидрогеологическом отношении водоносных горизонтов, разделенных водоупорными горизонтами и слоями.

Положение водоносных и водоупорных горизонтов в разрезе не зависит от петрографического состава пород. Стратификация скального массива связана с закономерным изменением напряженного состояния с глубиной и, как следствие, с изменением 3 основных характеристик проницаемого трещинного пространства: (1) общего количества открытых трещин, (2) степени их раскрытия и (3) степени их взаимосвязи.

Приповерхностная зона массовой трещиноватости в скальном массиве Петропавловского рудного поля развита до глубины 530 м. При этом тектонические разломы как элементы геомеханической неоднородности массива могут вносить существенные искажения в тектоническую стратификацию, выступая в качестве линейных водоносных или водоупорных зон.

Основной дренирующий горизонт территории не связан с интервалами максимальных фильтрационных свойств в кровле скального массива и залегает на глубине 240–310 м. Положение этого горизонта в разрезе фиксировалось во всех инженерно-геологических скважинах по минимальным значениям напора подземных вод и по особенностям их химического состава.

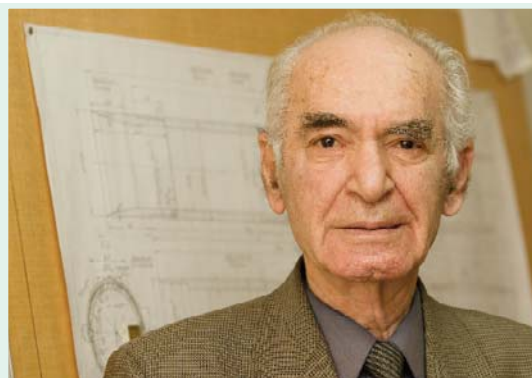
повышаться. Таким образом, существенный перепад напоров показал наличие значительной неоднородности в гидрогеологическом строении палеозойского водоносного горизонта.

В результате поинтервального опробования также было выявлено закономерное изменение химического состава

# Поздравляем!

## Лено Самвеловича АМАРЯНА

с 80-летием  
со дня рождения!



Лено Самвелович Амарян родился 18 марта 1929 г. В 1952 г. окончил механический факультет Московского торфяного института по специальности «инженер-механик». Затем был направлен сменным мастером механического цеха Орехово-Зуевского завода торфяного машиностроения. Впоследствии работал на этом заводе начальником литейного цеха, главным инженером, директором. В 1956 г. поступил в аспирантуру торфяного института, куда впоследствии перешел работать ведущим конструктором НИСа, а в 1961 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1961 по 1964 г. работал начальником НИСа института, переведенного в город Калинин и переименованного в политехнический. С 1964 по 1966 г. был старшим научным сотрудником института. В 1967 г. Л.С. Амарян защитил докторскую диссертацию на тему «Структурно-механические свойства торфяных залежей».

В 1968 г. был назначен заведующим кафедрой конструкций и сооружений Калининского политехнического института и в том же году получил звание профессора. В 1973 г. им была образована новая кафедра — «Основания и фундаменты».

С 1976 г. работает в ПНИИИС в должности заведующего отделом техники и технологий инженерных изысканий, с 1994 г. — заведующий сектором.

Л.С. Амарян — один из ведущих специалистов в области изучения структурно-механических свойств торфяных грунтов, является автором 41 произведения, награжден золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР.

*Коллектив редакции и редколлегия журнала «Инженерная геология» поздравляет Лено Самвеловича с 80-летием и желает крепкого здоровья, сил и неистощимой энергии!*





поземных вод с глубиной. Изменение содержания макрокомпонентов четко прослеживалось для всех 4 инженерно-геологических скважин. В верхней части скального массива (до глубины 200 м) подземные воды были хлоридными кальциево-магниево-натриевыми. Начиная с глубины 200 м их состав изменялся до хлоридно-сульфатного натриевого. На глубине 240–310 м наблюдалось максимальное содержание сульфат-ионов и ионов натрия, а также минимальное содержание хлорид-ионов и ионов кальция и магния. Эти заметные различия в химическом составе подземных вод между соседними интервалами опробования также свидетельствуют о неоднородном гидрогеологическом строении данной палеозойской толщи.

Изменения фильтрационных свойств, химического состава и, что особенно важно, напора подземных вод с глубиной свидетельствуют о наличии в разрезе обособленных водоносных горизонтов, разделенных водоупорными горизонтами и слоями. Причем выделенные в разрезе водоносные и относительно водоупорные горизонты не связаны с изменением петрографического состава пород.

Вулканогенные породы на территории Петропавловского рудного поля залегают наклонно, под углом 25–40°, с падением на северо-восток. Также происходит постепенное погружение в северном направлении рудоносных интервалов и интервалов гидротермального изменения пород. В геологическом разрезе 4 исследованных скважин до глубины 500 м наблюдалось сложное переслаивание лав, туфов и вулканогенно-осадочных пород базальтового, андезитово-базальтового, андезитово-дацитового и дацитового состава, а также метасоматитов. Все эти петрографические различия имеют близкие прочностные и деформационные показатели. Поэтому, находясь в условиях напряженного состояния под воздействием современных тектонических сил, данный скальный массив имеет возможность деформироваться как однородный. Основным результатом этих деформаций — гидрогеологическое расслоение, которое и было выявлено в ходе интервального опробования (рис. 3).

В отличие от геологических тел водоносные горизонты залегают практически строго горизонтально, что хорошо прослеживалось по всем 4 инженерно-геологическим скважинам. Положение в разрезе водоносных и относительно водоупорных горизонтов связано с изменением с глубиной основных характеристик трещинного пространства (количества открытых трещин, степени их раскрытия и степени их взаимосвязи). В верхней части скального массива в результате разгрузки естественных напряжений происходят максимальные деформации — как следствие, трещины обладают здесь наибольшим раскрытием, поэтому в кровле вулканогенного массива наблюдается максимальная фильтрационная способность скальных пород.

Как уже отмечалось, минимальный напор подземных вод для всех 4 инженерно-геологических скважин наблюдался на глубине 240–310 м, значит, на этой глубине залегает основной дренирующий горизонт территории Петропавловского рудного поля. Несмотря на то что фильтрационные свойства данного горизонта не являются максимальными, вероятнее всего, именно здесь наиболее полно реализуется условие взаимосвязи отдельных трещин. Особенности напряженного состояния приводят к формированию на указанной глубине хорошо развитой сети взаимосвязанных трещин скола. Как известно, в любой проницаемой среде вода движется по линии наименьшего сопротивления. Следовательно, водоносный горизонт, залегающий на глубине 240–310 м, является самым предпочтительным для транзита подземных вод за счет минимальных энергетических затрат.

Данные по распределению напоров в разрезах инженерно-геологических скважин показали, что движение подземных вод в разных водоносных горизонтах в пределах изучаемого скального массива происходит разнонаправленно. В верхних водоносных горизонтах движение подземных вод происходит в сторону действующего карьера. В основном дренирующем горизонте на глубине 240–310 м вода движется от карьера в направлении речных долин, играющих роль базиса дренажа. Таким образом, депрессионная воронка, сформированная в результате разработки карьера, охватывает на сегодняшний день только верхние водоносные горизонты скального массива.

Итак, стратификация скального массива связана с механизмом образования массовой трещиноватости в приповерхностной части земной коры в условиях напряженно-деформированного состояния. Здесь необходимо добавить, что фильтрационная структура и тектоническая стратификация скальных массивов могут существенно искажаться или изменяться тектоническими разломами, которые могут выступать в качестве линейных водоносных или водоупорных зон, не связанных с общим закономерным развитием водоносных горизонтов. Поэтому все скальные массивы обладают, как правило, сложным гидрогеологическим строением, связанным с неоднородной трещинно-блоковой структурой, подчиняющейся определенным геомеханическим закономерностям.

Проведенные исследования еще раз показали, что современное тектоническое напряженное состояние и связанная с ним гидрогеологическая стратификация массивов скальных горных пород должны учитываться при выполнении инженерных изысканий под объекты глубокого заложения, при планировании и ведении горных работ, а также при проектировании сетей наблюдательных скважин с целью гидрогеологического и геоэкологического мониторинга.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукьянов А.Е. Гидрогеомеханический анализ ориентировки водоносных тектонических структур в скальных породах Петропавловского рудного поля // Изв. вузов. Геология и разведка. 2008. № 6. С. 84–85.
2. Лукьянов А.Е. Гидрогеомеханический анализ ориентировки водоносных тектонических структур в скальных породах // Изв. вузов. Горный журнал. 2008. № 8. С. 182–184.
3. Макаров А.Б. Практическая геомеханика: Пособие для горных инженеров. М.: Горная книга, 2006. С. 41–61.
4. Тагильцев С.Н. Геомеханические основы гидрогеологической стратификации скальных массивов Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 1995. № 5. С. 75–79.
5. Тагильцев С.Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003.
6. Шерман С.Н., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск: Наука, 1989. 41 с.