

*Р. ПЕРЕНС*

## О ПРИМЕНЕНИИ РАСХОДОМЕТРИИ ПРИ РАСЧЛЕНЕНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА КАРБОНАТНОЙ ТОЛЩИ НА ПАНДИВЕРЕСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

В последнее время при расчленении гидрогеологического разреза широкое применение нашел метод расходомерии (Гершанович, 1972; Плотников, 1972), который заключается в том, что с помощью глубинных расходомеров в пробуренной скважине, соединяющей множество водоносных интервалов, определяется расход воды вдоль ствола скважины. Обычно этот метод применяется при естественном уровне воды в скважине и при одной или нескольких ступенях его изменения путем откачек, самоизлива или налива. Результаты исследований, проведенных при естественном уровне воды в условиях соединения скважиной нескольких водоносных зон с различными гидравлическими характеристиками, отражают состояние возбуждения одних зон другими.

В настоящей статье приводятся результаты работ, проведенных Управлением геологии СМ ЭССР в районе Пандивереской возвышенности при разведке подземных вод и крупномасштабной гидрогеологической съемке с использованием расходомерии. В исследованиях использовался расходомер Т СР-70, представляющий собой вертушку, с помощью которой измерялись скорость и направление потока воды в стволе скважины. Полевые работы выполнены и расходограммы отдельных скважин составлены К. Дементьевым. Керны скважин детально описаны Т. Ланг.

Расходометрические исследования, проведенные в 43 скважинах на Пандивереской возвышенности, показывают приуроченность водоносных зон ко всем выделенным в настоящей работе стратиграфическим подразделениям (рис. 1—3). Отдельные зоны водопритокков (поглощения) сопоставляются между собой только в пределах определенных участков с расстояниями между скважинами не более 500 м (скв. 196, 197, 198). Если скважины отстоят друг от друга на 2—3 км, возможности сопоставления отдельных водоносных зон обычно нет. Поэтому расчленение гидрогеологического разреза на относительно слабопроницаемые и водоносные слои в пределах какого-либо участка представляется возможным только на основании статистической обработки данных расходомерии.

В данной работе отдельным водоносным слоем считается обнаруженная в скважинах с помощью расходомерии водоотдающая или водопоглощающая зона. Слой с многократным чередованием таких зон без явного доминирования в разрезе проницаемых пород над водонепроницаемыми М. Е. Альтовский (1960) называет водоносными слоями. Такой подход к определению водоносных слоев, по мнению автора, позволяет наиболее точно выявить особенности гидрогеологического строения описываемой территории. Условно мы считаем, что если в пределах како-



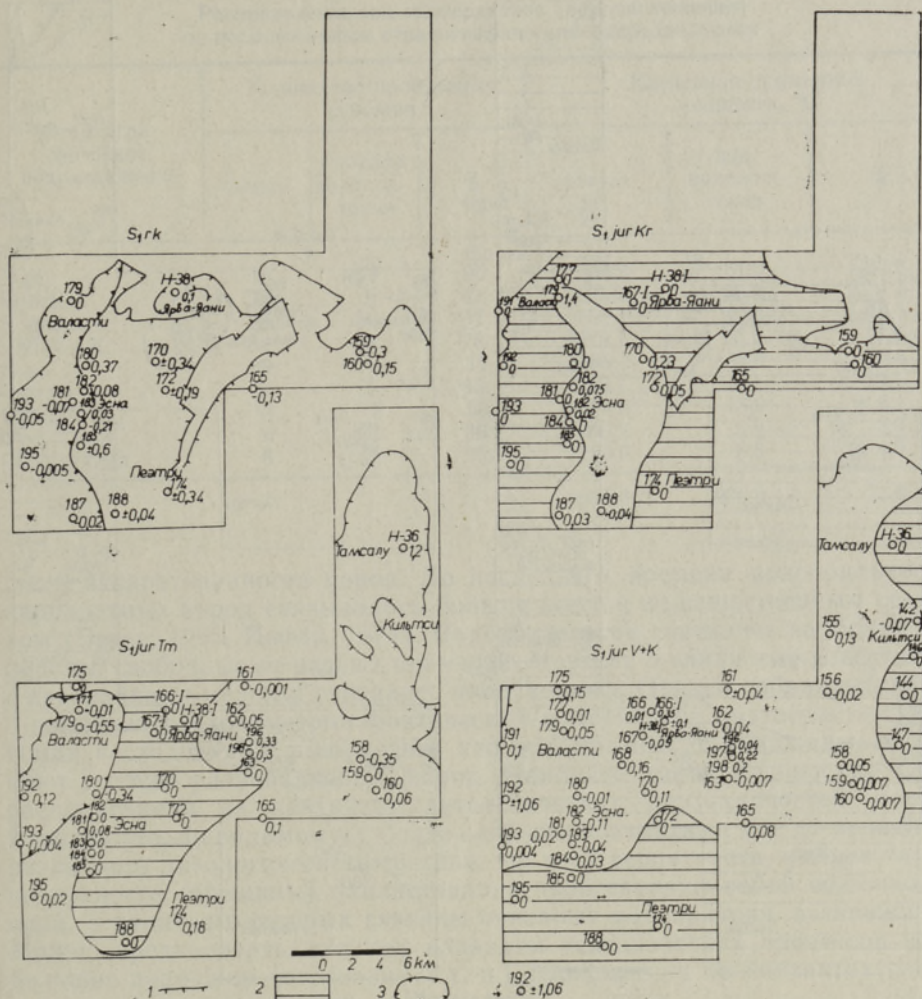


Рис. 1. Схемы обобщенных водопритоков силурийского водоносного комплекса. 1 — контур распространения, 2 — участки распространения практически безводных пород, 3 — участки с преобладанием водопоглощения, 4 — скважина, причем сверху ее номер, справа — обобщенный водоприток, л/сек; минус — зона водопоглощения, плюс и цифры без знака — зона водопритока.

го-то стратиграфического подразделения в большинстве (более 50%) скважин с помощью расходомерии установлено наличие зон притока (поглощения), такие горизонты или пакки называются водоносными, в противном случае (50% или меньше) они относятся к относительно слабопроницаемым (табл. 1). Мощность зон поглощения или притока равна 1—6 м, обычно 1—2 м.

Как показывают расходометрические исследования, водоносные зоны составляют из суммарной исследованной мощности гидрогеологического разреза, равной 1876 погонным метрам, лишь 14,8%. Остальную часть разреза можно считать практически безводной в отношении гравитационной воды. В основном зоны водопритоков приурочены к райккюласкому горизонту ( $S_{1rk}$ ), к варболаской свите юрского горизонта ( $S_{1jurV+K}$ ) и к адилаской пакке пиргуского горизонта ( $O_{3prgA}$ ). На исследованном участке в 78—95% скважин водопритоки обнаружены именно в этих



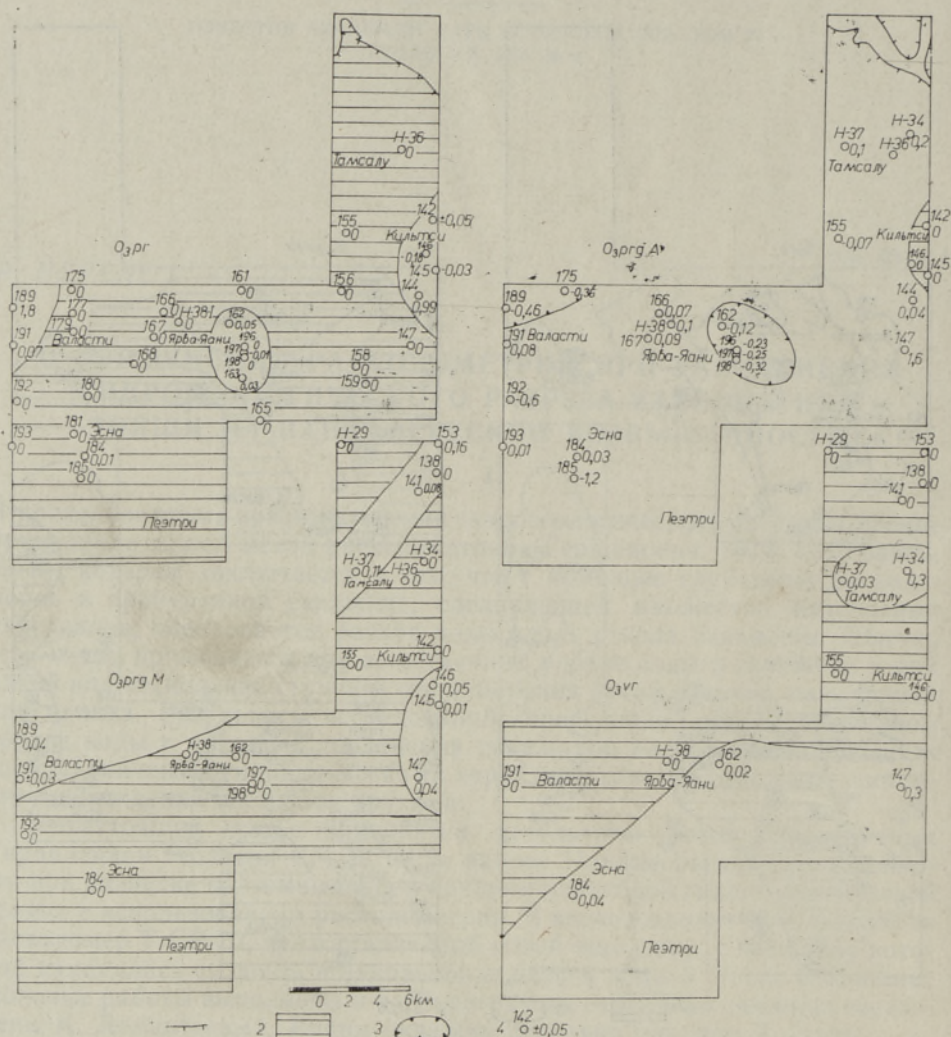


Рис. 2. Схемы обобщенных водопритоков ордовикского водоносного комплекса. Обозначения см. на рис. 1.

стратиграфических подразделениях (рис. 4а, табл. 1). Значительно реже установлены зоны водопритоков в каринуской пачке юрского горизонта ( $S_{1jup}Kr$ ), в поркуниском ( $O_3prg$ ) и вормсиском ( $O_3vg$ ) горизонтах. Аналогичным образом распределяются мощности водоносных зон.

Отдельные экстремально высокие показатели водопритоков могут в некоторой степени искажать общую картину распределения обобщенных водопритоков, под которыми понимается отношение суммарной величины значений водопритоков (водопоглощений) отдельных зон к суммарной раскрытой мощности соответствующего стратиграфического подразделения. Однако при этом по относительной водообильности явно выделяются райккюлаский горизонт и адилаская пачка пиргуского горизонта.

Вообще водообильность карбонатных пород очень разнообразна; что обусловлено различиями в их вещественном составе, структуре и текстуре, различными степенью и характером трещиноватости, кавернозно-



Таблица 1

**Распределение зон водопритоков (водопоглощения)  
по исследованным стратиграфическим подразделениям**

| Стратигра-<br>фическое<br>подразделение | Количество пройденных<br>скважин |                               |    | Изученная суммарная<br>мощность, % |                          |      |
|---|----------------------------------|-------------------------------|----|------------------------------------|--------------------------|------|
|   | общее                            | с зонами<br>водопри-<br>токов | %  | общая                              | зон<br>водопри-<br>токов | %    |
| S <sub>1</sub> rk                       | 18                               | 17                            | 95 | 258,9                              | 61,0                     | 23,6 |
| S <sub>1</sub> jurKr                    | 22                               | 9                             | 41 | 96,4                               | 13,2                     | 13,7 |
| S <sub>1</sub> jurTm                    | 28                               | 16                            | 57 | 150,1                              | 24,8                     | 16,5 |
| S <sub>1</sub> jurV+K                   | 36                               | 28                            | 78 | 419,1                              | 75,0                     | 17,9 |
| O <sub>3</sub> pr                       | 29                               | 10                            | 35 | 195,1                              | 32,8                     | 16,8 |
| O <sub>3</sub> prgA                     | 18                               | 15                            | 83 | 190,7                              | 36,4                     | 19,1 |
| O <sub>3</sub> prgM                     | 14                               | 7                             | 50 | 294,5                              | 18,0                     | 6,1  |
| O <sub>3</sub> vr                       | 8                                | 3                             | 38 | 90,2                               | 8,0                      | 8,9  |
| O <sub>3</sub> nb — O <sub>2</sub> jh   | 8                                | 2                             | 25 | 180,6                              | 8,8                      | 4,9  |
| Итого                                   |                                  |                               |    | 1875,6                             | 278,0                    | 14,8 |

сти и закарстованности пород. До последнего времени водообильность карбонатных пород связывалась больше всего с их вещественным составом (Верте, 1965; Йыгар, 1974). Водообильными считались карбонатные породы, свободные от разных примесей. Мергели и глинистые известняки с прослойками мергеля считались водоупорами. Однако собранный нами с помощью расходометрии фактический материал не подтверждает это. Наши исследования показывают, что водопритоки в скважины поступают из всех разновидностей пород. Наиболее часто водоносные слои располагаются на контактах литологических разновидностей пород. Связано это, по-видимому, с более слабыми контактами между породами различного литологического состава. По всей вероятности, именно такие поверхности (трещины) напластования представляют собой водоносные слои, с наличием которых связаны основные водопритоки в скважины. Можно предполагать, что под влиянием тектонических процессов наибольшие подвижки (отслоение и т. п.) происходили на контактах слоев с разными механическими свойствами.

Относительно слабые контакты между плотными известняками и прослоями мергеля имеются, например, в разрезе варболаской пачки. При неглубоком залегании мергели как малоустойчивые породы могут подвергаться суффозионным процессам, в результате которых в разрезе образуются водоносные трещины. Из вышесказанного следует очень важная роль текстурных особенностей пород, на что ранее внимания не обращалось.

Большое значение при распределении водоносных слоев имеет глубина залегания отдельных стратиграфических подразделений. Поэтому в пределах своих выходов, которые прослеживаются севернее описываемой территории, некоторые из выделенных слабопроницаемых стратиграфических подразделений становятся водоносными. Наоборот, с увеличением глубины залегания уменьшаются трещиноватость и закарстованность, определяющие фильтрационные свойства карбонатных пород.

Мощность зоны наибольшей трещиноватости и обводненности составляет около 75 м. На эту часть разреза падает около 97% среднего водопритока карбонатной толщи (рис. 4г). На глубине 75—140 м зарегистрированы лишь отдельные водопритоки.



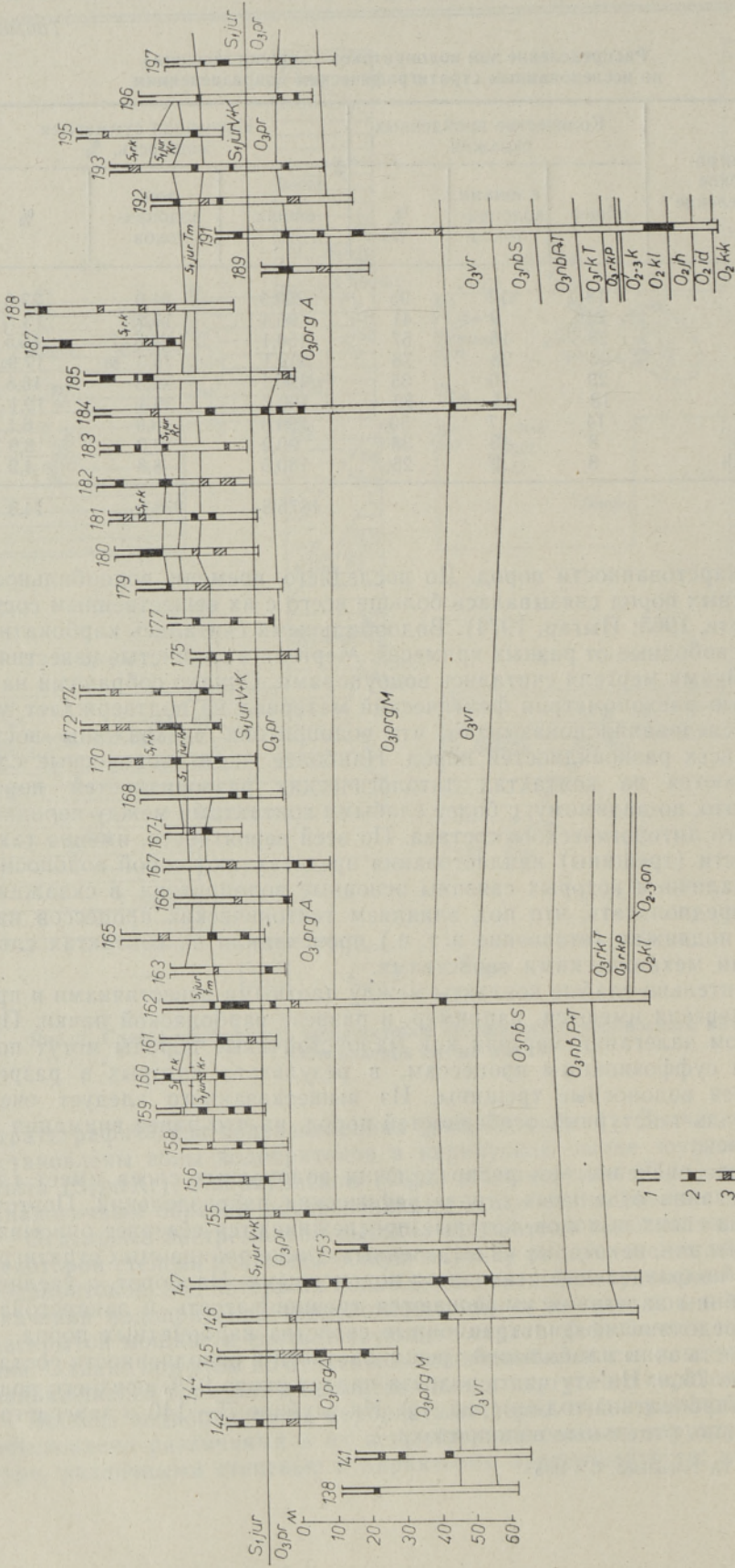


Рис. 3. Сводная схема расположения зон водопритоков и водопоглощений по скважинам. 1 — обсадные трубы, 2 — зона водопритока, 3 — зона водопоглощения.



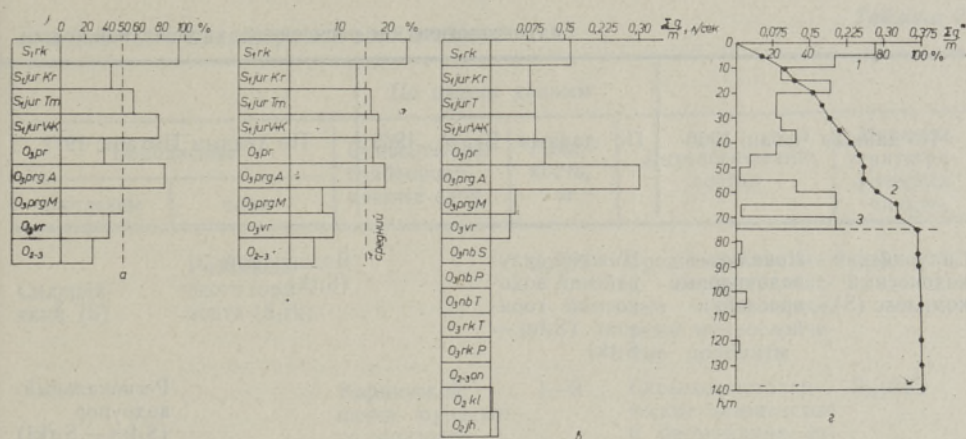


Рис. 4. Обобщенные результаты расходометрических исследований: а — эпюра количества скважин с зонами водопритока (водопоглощения), б — эпюра относительной мощности зон водопритоков (водопоглощений), в — эпюра обобщенных водопритоков (водопоглощений), г — эпюра поинтервальных обобщенных водопритоков (водопоглощений) (1), график водообильности (2) и граница наиболее обводненной толщи (3).

По относительной водообильности силурийско-ордовикскую карбонатную толщу можно в пределах изученной территории подразделить на ряд водоносных и относительно водоупорных слоев (табл. 2), которые описаны ниже.

Водоносные слои райккюлаского горизонта (S<sub>1</sub>rk) приурочены к доломитам и доломитистым известнякам, которые широко распространены в южной части изученной территории. В естественных условиях водоносные слои (зоны) разделяются на водоотдающие и водопоглощающие. Наличие в скважинах одного горизонта одновременно как водопоглощающих, так и водоотдающих слоев (зон) указывает на различия в пьезометрических уровнях отдельных водоносных слоев в пределах ограниченных территорий. Наиболее высокие значения обобщенных водопритоков (0,1—0,3 л/сек) отмечены в районе тектонических нарушений Пеэтри-Эсна (см. рис. 1).

Средний обобщенный водоприток 18 скважин составляет 0,16 л/сек. Относительно слабопроницаемые слои каринуской пачки юурского горизонта (S<sub>1</sub>jurKr) представлены на большей части участка почти чистыми детритистыми известняками. Водопритоки установлены в 9 скважинах из 22 исследованных, т. е. составляют 41 %. Мощность водоносных слоев равняется 13,7 % суммарной мощности исследованного расходометрией разреза. Скважины с водопритоками из каринуской пачки сконцентрированы в меридиональной полосе от д. Валасте до д. Пеэтри, ширина которой 3—5 км. На остальной территории водопритоки в скважинах отсутствуют (см. рис. 1).

Водоносные слои юурского горизонта (S<sub>1</sub>jur) приурочены к таммикуской, варболаской и койгиской пачкам юурского горизонта. Несмотря на значительную изменчивость литологического состава при вскрытии этих подразделений, скважин с водопритоками явно больше, чем скважин, из которых водопритоков не отмечалось. В таммикуской пачке количество скважин с водопритоками составляет 57, в варболаско-койгиской — 78 %. Обобщенные водопритоки в основном составляют 0,01—0,1 л/сек. Хотя в целом описываемые пачки характеризуются как водоносные, отмечаются некоторые участки, в пределах которых



## Гидрогеологическое расчленение карбонатной толщи

| По данным Чебан, 1966                               |                                 | По данным Верте, 1965  | По данным Иыгара, 1977             |  |
|---|---------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Силурийский водоносный комплекс (S)                 | Локальные водоупорные прослойки | Нижний силурийский водоносный горизонт ( $S_{1tm} - S_{1rk}$ ) | Водоносный ( $S_{1rk}$ )           | Региональный водоупор ( $S_{1tm} - S_{1rkI}$ ) |
|   |                                 |  | Водоносный ( $S_{1tm} - S_{1jr}$ ) | Локальный водоупор ( $S_{1jur}$ )              |
|   |                                 | Водоупор ( $S_{1jurV}$ )                                       |                                    |  |
| Ордовикский водоносный комплекс ( $O_3rg - O_3kn$ ) |                                 | Верхний ордовикский водоносный горизонт ( $O_3rk - O_3pk$ )    | Водоносный ( $O_3pk - O_3pg$ )     | Локальный водоупор ( $O_3pgA$ )                |
|   |                                 |  |                                    | Региональный водоупор ( $O_3vg - O_3pgM$ )     |
|   |                                 |  | Водоносный ( $O_3rk - O_3nb$ )     | Локальный водоупор ( $O_3nb$ )                 |

водопритоков в скважины не установлено. В таммикуской пачке такая зона протягивается от Ярва-Яани до д. Пеэтри. Отсутствием водоносных слоев выделяется также варболаская пачка южнее и восточнее линии Эсна-Пеэтри (см. рис. 1).

Относительно слабопроницаемые слои поркуни-ского горизонта ( $O_3rg$ ) имеют почти повсеместное распространение. Из 29 исследованных скважин водопритоки (водопоглощения) отмечались лишь в 10, что составляет 35% их количества. Следует отметить, что эти 35% скважин с водопритоками сконцентрированы на трех небольших по площади участках. Около 90% территории характеризуется отсутствием водопритоков в скважины (см. рис. 2).

Водоносные слои адилаской пачки пиргуского горизонта ( $O_3rgA$ ) являются наиболее выдержанным скоплением подземных вод ордовикского водоносного комплекса. Количество скважин с водопритоками составляет 83% общего количества исследованных скважин. Мощность водоносных зон равняется 19,1% общей мощности пачки. Средний обобщенный водоприток (0,30 л/сек) в 3—6 раз превышает обобщенные водопритоки других стратиграфических подразделений ордовика (см. рис. 2). Относительно высокая водообильность объясня-



## западной части Пандиверской возвышенности

Таблица 2

| По нашим данным |   |  |             |   |  |
|-----------------|---|--|-------------|---|--|
| Водоносные      |   | Относительно слабопроницаемые слои                           | Мощность, м | Литологический состав   | Индексы стратиграфических единиц   |
| комплексы       | слои  |  |             |   |  |
| Силурийский (S) | Райккюла-ского горизонта (S <sub>1rk</sub> )                |  | до 36       | Среднекомковатые и -волнистослоистые известняки, реже микрослойчатые доломиты         | S <sub>1rk</sub>   |
|                 |   | Каринуской пачки юурусского горизонта (S <sub>1jurKr</sub> ) | 1—9         | Скрытокристаллические детритистые и биоморфные известняки                             | S <sub>1jurKr</sub>  |
|                 | Юурусского горизонта (S <sub>1jur</sub> )                   |  | 12—25       | Средневолнистослоистые глинистые известняки, реже детритистые и биоморфные известняки | S <sub>1jurTm</sub><br>S <sub>1jurV</sub>                                  |
| Ордовикский (O) |   | Поркуниского горизонта (O <sub>3pr</sub> )                   | 5—12        | Рифовые и чисто детритовые известняки; песчаники, доломиты                            | O <sub>3pr</sub>   |
|                 | Адилаской пачки пиргусского горизонта (O <sub>3prgA</sub> ) |  | 5—18        | Среднекомковатые глинистые детритистые известняки                                     | O <sub>3prgA</sub>   |
|                 |   | Верхнего и среднего ордовика (O <sub>3—O<sub>2</sub></sub> ) | 100—130     | Микро- и скрытокристаллические известняки   | O <sub>3prgM</sub><br>O <sub>3rk</sub> —O <sub>3vr</sub><br>O <sub>2</sub> |

ется, по-видимому, литологическими и текстурными особенностями пачки, которая сложена среднекомковатыми детритистыми глинистыми известняками или глинистыми доломитистыми известняками с прослойками мергеля. Для пачки характерны многочисленные поверхности перерыва.

Относительно слабопроницаемые слои верхнего и среднего ордовика (O<sub>3—2</sub>) приурочены к скрыто- и микрокристаллическим известнякам набалаского и раквереского горизонтов, моэской пачки пиргусского горизонта и глинистым детритистым известнякам вормсисского горизонта верхнего ордовика и ко всем вскрытым горизонтам среднего ордовика. В пределах изученной глубины гидрогеологического разреза (в среднем до 50 м) наиболее распространенными по мощности подразделениями являются моэская пачка пиргусского горизонта и вормсисский горизонт. Мощность водоносных зон составляет 6—9% общей мощности названных подразделений. С увеличением глубины залегания доля водоносных зон уменьшается до 4,9%. Интересно отметить, что в скв. 191, расположенной в пос. Роозна-Аллику, водопитоки установлены в глинистых известняках кейлаского и йыхвисского горизонтов на глубине 120—130 м, в то время как чистые скрыто- и микрокристаллические



известняки раквереского и набалаского горизонтов, залегающие значительно выше, были безводными.

В заключение следует сказать, что

- 1) водоносность карбонатных пород на Пандивереской возвышенности связана с относительно маломощными зонами, которые могут наблюдаться во всех стратиграфических подразделениях. Большая часть гидрогеологического разреза карбонатных пород практически безводна;
- 2) наиболее часто водоносные зоны отмечаются на контактах литологических разновидностей пород, в частности в глинистых комковатых известняках пиргуского и юрусского горизонтов;
- 3) подтверждается предположение П. Йыгара об условности и невыдержанности отдельных водоносных и водоупорных горизонтов, вследствие чего расчленение гидрогеологического разреза карбонатных пород можно проводить условно и только на основе статистической обработки материала;
- 4) некоторое отличие от ранее проведенных гидростратиграфических (Верте, 1965; Йыгар, 1973, 1974) обусловлено, по-видимому, более точной корреляцией водоносных зон с геологическим разрезом в ходе расходометрических исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Альтовский М. Е. Методические указания по составлению гидрогеологических карт масштабов 1:1 000 000 — 1:500 000 и 1:200 000 — 1:100 000 м. М., 1960.
- Верте А. Основные черты гидрогеологического строения и формирования подземных вод Эстонского артезианского бассейна. — Изв. АН ЭССР. Сер. биол., 1965, т. 14, № 4, с. 563—586.
- Гершанович И. М. Геофизические методы исследования гидрогеологических скважин. — В кн.: Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972.
- Йыгар П. Определение гидрогеологического строения при помощи суммарных уровней подземных вод. — Изв. АН ЭССР. Хим. Геол., 1973, т. 22, № 4, с. 341—344.
- Йыгар П. Химический состав подземных вод как индикатор водоупорных свойств карбонатных пород. — Изв. АН ЭССР. Хим. Геол., 1974, т. 23, № 2, с. 161—166.
- Йыгар П. О схеме гидростратиграфического расчленения карбонатных пород Северной Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Хим. Геол., 1977, т. 26, № 2, с. 155—158.
- Плотников И. И. Опыт применения расходометрии скважин при гидрогеологических исследованиях на СУБР. — В кн.: Прогноз водопритоков в горные выработки и водозаборы подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах. Недра, М., 1972.
- Чебан Э. Р. Характеристика водоносных комплексов горизонтов и водоупорных толщ. — В кн.: Гидрогеология СССР. М., 1966, т. XXX.

Управление геологии  
Совета Министров ЭССР

Поступила в редакцию  
28/VI 1977

R. PERENS

#### PANDIVERE KÖRGUSTIKU KARBONAATSETE KIVIMITE KIHTKONNA HÜDROGEOLOOGILINE LIIGENDAMINE PUURAUGUSISESTE VOOLUHULKADE MÕOTMISE TEEL

Artiklis on käsitletud vettkandva kihtkonna stratifitseerimist deebitite mõotmise alusel puuraugude lahtistes vahemikes. Analüüsitud on 43 Pandivere kõrgustikul paikneva puuraugu andmeid. Vettkandvad ja vett suhteliselt vähe juhtivad kihid on eristatud üksikute stratigraafiliste üksuste kohta arvutatud keskmiste vooluhulcade ning veetsoonide sageduse ja nende suhtelise paksuse alusel. Kuigi üksikuid veetsoone leidub kõigis stratigraa-



filistes üksustes, on vettkandvateks kihtideks loetud neid üksusi, kus veetsoone on rohkem kui pooltes puuraukudes. Kõige sagedamini esineb veetsoone erineva litoloogilise koostisega kivimite kokkupuutekohtades ja suhteliselt savikates mugulja tekstuuriga pürgu ja juuru lademe kivimeis.

R. PERENS

#### HYDROGEOLOGICAL GROUPING OF CARBONATE ROCKS OF PANDIVERE UPLAND BY MEASURING FLOW AMOUNTS IN BOREHOLES

The author discusses the stratification of water-bearing strata on the basis of measuring the flow debits in the open intervals between the boreholes. The data of 43 boreholes situated in Pandivere Upland have been analysed. The water-bearing and the relatively less water-conducting beds have been differentiated in separate stratigraphical units on the bases of the calculation of mean flow amounts, frequency of water zones and their relative thicknesses. Though some single water zones occur in almost all the stratigraphical units, nevertheless only those beds have been considered water-bearing, in which water zones occur in more than a half of the boreholes. The water zones occur with the greatest frequency in the contact zones of rocks of different lithological composition and in rocks of a relatively clayey tuberous texture, e. g., in Pürgu and Juuru stages.