

УДК 556.332.5/6+556.168(474.2)

П. ИЫГАР, Р. ПЕРЕНС

УТОЧНЕНИЕ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО НОВЫМ МАТЕРИАЛАМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ПАНДИВЕРЕСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЭСТОНИЯ)

В настоящей работе уделяется внимание определению фильтрационных параметров верхней части коренных пород (известняков, доломитов и мергелей) ордовика и силура в пределах Пандивереской возвышенности — обширного платообразного поднятия коренных пород в Северо-Восточной Эстонии, площадью около 3000 км². Особое внимание уделено вопросам распределения относительно водоупорных и водовмещающих пород (водоносных горизонтов) в верхней части разреза, до глубины 100 м. Поскольку Пандивереская возвышенность является не только значительным орографическим элементом, но и составной частью водонапорной системы водоносных горизонтов, его гидрогеологическое строение неоднократно рассматривалось в специальной литературе, в том числе и авторами. В настоящее время необходимость уточнения параметров фильтрации и гидрогеологического строения в этом регионе вызвана возможным развертыванием на центральной и северо-восточной частях возвышенности крупных горнопроходческих работ, что в свою очередь потребует новых, более современных данных для разработки водоохраных мер. При этом следует учитывать значительную гидрогеологическую роль Пандивереской возвышенности, так как чистота подземных вод в ее недрах является залогом экологического равновесия на обширных окружающих территориях.

Впервые коэффициенты фильтрации отдельных стратиграфических горизонтов коренных пород этого региона рассчитаны автором в 1970—1972 гг. (Иыгар, 1972). Имеющиеся к тому времени буровые скважины (около 400, подавляющее большинство из них эксплуатационные) и соответствующие данные опытных откачек были разделены по территориальному принципу на 37 групп, по 5—18 скважин в каждой. Искомые коэффициенты фильтрации отдельных стратиграфических горизонтов, вскрываемых рабочими частями скважин, определялись как условные математические ожидания при решении системы однотипных линейных уравнений.

Метод условных вероятностей, по существу заменяющий метод наименьших квадратов, но в отличие от последнего обладающий рядом преимуществ, зарекомендовал себя как надежный метод при обобщении исходных данных скважин с различными глубинами рабочих частей. Аналогичный вычислительный метод использован для определения коэффициентов фильтрации коренных пород в новой редакции (таблица). При расчетах использованы дополнительно данные скважин, пробуренных и испытанных в ходе гидрогеологического картирования в целях проведения на Пандивереской возвышенности мелиоративных

Параметры фильтрации коренных пород Пандиверской возвышенности

| № группы на рисунке | | | Коэффициенты фильтрации стратиграфических горизонтов, м/сут | | | | | | | | | | Водопрони- мость карбонат- ной толщи раз- личных глубин, м ² /сут | | | Расходомер- ная | | | | | | |
|---------------------|---------|----|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--|-------------------|-------------------|--------------------------|---|-----|-----|-----------|--------|-------|
| Местополо- жение | | | Количество скважин | | | | | | | | | | Количество водо- носных зон (в скобках скважины) | | | Совпадение, % | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | O ₃ vr | O ₃ nbS | O ₃ nbP | O ₂ rkT | O ₂ rkP | O ₂ on | O ₂ kl | O ₂ jh- id | O ₂ kk | O ₂ uh | O ₂ ls | O ₂ as | O ₁ kn | O ₁ vl- lt | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| I подрайон | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Вийтна | 14 | | | | | | | | 0,28 | 11,72 | 12,77 | 4,77 | ← 2,82 → | ← 2,66 → | | | 97 | 329 | 464 (80м) | 3 (2) | |
| 2 | Хальяла | 8 | | | | | | | | | | 6,34 | ← 2,54 → | ← 1,72 → | ← 1,52 → | | | 96 | 118 | 118 (38м) | | |
| 3 | Вохня | 7 | | | | | | | | ← 0,75 → | 1,38 | 1,69 | ← | ← 1,79 → | ← | | | 18 | 48 | 89 (63м) | | |
| 4 | Кадрина | 11 | | | | | | | | ← 1,44 → | 1,03 | 2,72 | 2,05 | ← 0,75 → | ← 0,72 → | | | 24 | 70 | 94 (65м) | 2 (1) | |
| 5 | Ракзере | 20 | | | | | 9,68 | 9,83 | 10,18 | 4,82 | 6,24 | 13,33 | ← 11,57 → | ← 10,44 → | | | | 196 | 328 | 783 (83м) | 10 (3) | 48-62 |
| 6 | Каарли | 12 | | | | | | | | ← 18,41 → | | 16,86 | 5,42 | ← 2,89 → | ← 1,05 → | 0,91 | | 360 | 493 | 521 (62м) | | |
| 7 | Сями | 13 | | | | | | | | 10,30 | 11,79 | 9,69 | ← | ← (7,01) → | ← | | | 221 | 409 | 563 (61м) | | |
| II подрайон | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Агвийду | 7 | | | | | 0,86 | ← 0,63 → | 0,83 | (0,96) | | | | | | | | 15 | 30 | 42 (52м) | | |
| 9 | Янеда | 5 | ← 5,32 → | 4,81 | 4,87 | 3,30 | 2,40 | ← (0,79) → | | | | | | | | | | 106 | 202 | 390 (86м) | 9 (2) | 47-53 |
| 10 | Лехтсе | 9 | 0,90 | 1,81 | 2,69 | 3,05 | 1,41 | ← | 1,31 | ← | | | | | | | | 27 | 79 | 138 (70м) | 2 (1) | |
| 11 | Тапа | 12 | | 15,23 | 14,10 | 6,57 | 4,79 | 6,27 | ← 7,06 → | | | | | | | | | 285 | 399 | 581 (67м) | 6 (2) | 38-58 |
| 12 | Удрику | 10 | | 5,95 | 9,21 | 6,04 | 6,18 | ← 5,82 → | 2,39 | | | | | | | | | 149 | 270 | 350 (60м) | 2 (2) | |
| 13 | Моз | 18 | ← 8,51 → | 17,77 | 14,42 | | 11,84 | ← 18,75 → | | | | | | 7,63 | ← | | | 170 | 451 | 1376 | 27 (8) | 40-67 |
| 14 | Неэрути | 10 | 4,60 | 7,30 | 11,68 | 14,15 | 7,93 | 8,16 | 9,45 | 11,02 | | | | | | | | 106 | 326 | 885 (93м) | 12 (4) | 50-57 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | | | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | |
|------------------|-------------|----|-----------|------------|----------|--------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|-------|
| III подрайон | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Паюсти | 19 | ← 10,34 → | ← 11,48 → | 10,16 | 9,33 | 6,94 | 6,68 | ← 6,45 → | ← 7,15 → | 213 424 | 839 | 11 (9) | 86—94 | |
| 16 | Канкюла | 15 | | 23,77 | 20,68 | 10,38 | 6,46 | 4,80 | 3,26 | 3,60 | ← 4,81 → | 382 534 | 709 (83м) | 49 (16) | 38—54 |
| 17 | Кабала | 16 | | | | | 15,70 | 16,66 | 11,43 | ← 3,70 → | 4,32 | 321 540 | 618 (60м) | 7 (4) | 81—78 |
| 18 | Мийла | 10 | | ← 11,25 → | | | 6,61 | 4,54 | 2,42 | ← 3,96 → | 225 346 | 497 (82м) | | | |
| 19 | Мяниккяля | 13 | | ← (3,12) → | | 9,06 | 9,48 | 11,28 | 13,42 | 20,58 | ← 25,00 → | 62 215 | 1125 | 30 (10) | 69—65 |
| 20 | Виру-Яагули | 10 | ← 12,52 → | ← 5,79 → | | (2,56) | | | (1,68) | | 237 353 | 580 | 6 (2) | <50 | |
| 21 | Ангузе | 15 | | ← 17,10 → | ← 1,15 → | 1,12 | ← 0,46 → | | | 0,29 | ← 342 413 | 443 | 11 (4) | 29—58 | |
| IV и V подрайоны | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | Няо | 8 | (6,56) | 9,85 | 7,06 | 4,21 | 2,94 | ← 4,79 → | | | 131 296 | 576 | 8 (2) | <50 | |
| 23 | Калле | 9 | 14,22 | 10,07 | 12,38 | 11,68 | ← 11,57 → | | | | 284 515 | 1227 | 8 (3) | 40—68 | |
| 29 | Албу | 8 | | 3,76 | 5,49 | 7,68 | 5,86 | | | | 77 193 | 358 (63м) | | | |
| 30 | Аравете | 12 | 0,86 | 0,69 | 0,89 | 0,71 | 0,34 | ← 0,10 → | | | 17 33 | 52 (91м) | | | |

Примечание. Данные стратиграфические горизонты вскрыты менее чем в 3-х скважинах.

| 1 | 2 | 3 | S _{1rk} ^{II} | S _{1rk} ^I | S _{1tm} | S _{1jr} | O _{3pk} | O _{3Rc} | V _{3Rc} | W _{3Rc} ^{II} | W _{3Rc} ^I | O _{3vr} | Sq _{3Rc} ^{II} | Sq _{3Rc} ^I | O _{3nbp} | O _{2rk} | O _{2on-kl} | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|--------------|----|--------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|-----|-----------|--------|-------|---|
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | Сейда | 8 | 19,76 | ← | 11,68 | → | 4,44 | ← | 6,81 | → | 9,04 | → | 6,80 | → | 7,13 | → | 371 | 568 | 991 | 4 (3) | 66-63 | |
| 44 | Розла | 11 | (3,05) | ← | 2,66 | → | 2,13 | ← | 2,84 | → | 2,29 | → | 3,97 | → | 3,97 | → | 58 | 111 | 273 | 13 (5) | 40-65 | |
| 24 | Кулленга | 9 | (12,67) | ← | 7,33 | → | 3,40 | ← | 0,75 | → | (0,41) | → | → | → | → | → | 208 | 350 | 425 | 1 (1) | | |
| 25 | Лазила | 10 | (4,04) | ← | 4,99 | → | 7,47 | ← | 3,37 | → | → | → | → | → | → | → | 93 | 237 | 496 | 5 (3) | <50 | |
| 26 | Кюти | 14 | ← | 9,74 | → | 8,50 | → | 5,21 | ← | 3,92 | → | 4,14 | → | 3,32 | → | 1,98 | 195 | 350 | 594 | 7 (4) | <50 | |
| 27 | Поркуни | 11 | 4,15 | ← | 8,26 | → | 12,26 | ← | 9,18 | → | → | → | → | → | → | → | 100 | 263 | 692 | 1 (1) | | |
| 28 | Абури | 9 | 6,17 | ← | 9,25 | → | 16,09 | → | 5,75 | ← | (1,61) | → | → | → | → | → | 109 | 212 | 722 | 3 (1) | | |
| 31 | Амбла | 12 | ← | → | 0,99 | → | 3,74 | ← | 1,90 | → | 1,36 | → | 1,82 | → | 1,82 | → | 39 | 80 | 143 (82m) | 7 (3) | 71-67 | |
| 32 | Койги | 10 | 16,67 | ← | 7,62 | → | 2,89 | → | 1,79 | ← | 1,22 | → | 1,24 | → | 0,88 | → | 346 | 484 | 574 | 7 (4) | <50 | |
| 33 | Мадизе | 8 | 9,43 | ← | 11,26 | → | 17,61 | → | 0,86 | → | → | → | → | → | 1,55 | → | 201 | 509 | 692 (90m) | 6 (2) | <50 | |
| 34 | Оргметса | 7 | (0,60) | ← | 1,00 | → | 0,34 | → | 0,21 | → | → | → | → | → | → | → | 19 | 35 | 50 | 3 (1) | | |
| 35 | Выхмута | 9 | 5,25 | ← | 4,54 | → | 2,38 | → | 1,60 | → | → | → | → | → | → | → | 133 | 253 | 402 | 11 (4) | 45-57 | |
| VI подрайон | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | Ваянгу | 9 | 5,89 | ← | 5,71 | → | 4,40 | ← | 4,43 | → | 1,81 | ← | 1,98 | → | → | → | 113 | 201 | 360 | 9 (2) | 78-81 | |
| 38 | Тамсалу | 20 | ← | 4,42 | → | 8,32 | → | 9,23 | → | 7,27 | → | 7,06 | 8,40 | → | → | → | 139 | 296 | 575 (75m) | 22 (7) | 69-70 | |
| 39 | Пыдрангу | 14 | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | ← | 150 | 300 | → | 7 (3) | 71-79 | |
| 40 | Кильси | 13 | (6,42) | ← | 6,36 | → | 9,01 | ← | 8,94 | → | 13,46 | ← | 14,52 | → | → | → | 141 | 320 | 895 (90m) | 7 (3) | | |
| 41 | Вайке-Маарья | 15 | ← | 1,55 | → | 5,01 | ← | 4,19 | → | 3,52 | → | 7,67 | → | → | → | → | 62 | 143 | 256 (70m) | 7 (3) | 56-71 | |
| 42 | Каарма | 10 | (11,18) | ← | 11,31 | → | 12,13 | ← | 9,42 | → | 4,51 | ← | (1,92) | → | → | → | 230 | 430 | 608 | 10 (2) | 92-72 | |
| 43 | Трийги | 12 | (3,39) | ← | 11,47 | → | 16,57 | ← | 11,33 | → | 10,80 | → | (5,30) | → | → | → | 215 | 532 | 982 (90m) | 20 (8) | 55-80 | |
| 45 | Паасвере | 15 | ← | (11,78) | → | 10,72 | → | 7,55 | ← | 3,98 | → | 3,28 | → | → | → | → | 230 | 359 | 634 | 20 (8) | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

VII подрайон

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|----|---------------|-------|-------|--------|----------|-----------|-----|-----|------------|--------|--------|
| 46 | Анна | 9 | ← 3,60 → 1,18 | 1,06 | 0,86 | 0,29 | 0,39 | ← 0,34 → | 72 | 102 | 132 | 7 (2) | 54—63 |
| 47 | Алику | 8 | ← 10,0 → | 9,77 | 6,91 | 6,53 | | | 198 | 356 | 480 (60м) | 4 (4) | 55—59 |
| 48 | Валаста | 9 | 19,21 | 19,80 | 21,60 | 17,06 | 9,96 | 0,56 | 389 | 780 | 1098 (85м) | 20 (7) | 100—86 |
| 49 | Эсна | 15 | 17,36 | 16,79 | 13,54 | 10,76 | 10,39 | ← 14,52 → | 343 | 621 | 1392 | 13 (5) | 92—84 |
| 50 | Ярва-Яани | 20 | 12,05 | 12,52 | 13,64 | 13,20 | 14,68 | 16,28 | 243 | 509 | 1408 | 12 (4) | 69—69 |
| 51 | Эллавере | 7 | (3,76) | 4,53 | 3,94 | 2,75 | 3,81 | 12,75 | 80 | 159 | 374 (70м) | 7 (3) | <50 |
| 52 | Водья | 11 | ← 18,01 → | 14,73 | 11,35 | 11,38 | 19,27 | | 360 | 664 | 1127 (75м) | 2 (1) | |
| 53 | Пезтри | 9 | 22,65 | 10,73 | 7,18 | 4,63 | 2,17 | 1,61 | 417 | 593 | 705 (75м) | 2 (1) | |
| 54 | Тудре | 11 | 13,90 | 11,00 | 11,41 | 15,31 | ← 9,23 → | | 278 | 507 | 1034 (90м) | 6 (3) | 28—57 |
| 55 | Мююслери | 9 | 14,28 | 10,89 | 12,95 | (8,71) | | | 268 | 486 | 852 (72м) | | |

VIII подрайон

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|----|-------|-------|-------|--------|-------|----------|--------|-----|-----|------------|--------|-------|
| 56 | Варангу | 11 | 6,53 | 10,43 | 10,39 | 5,69 | 6,22 | 7,45 | 9,41 | 161 | 346 | 715 (90м) | 8 (4) | <50 |
| 57 | Нымис | 8 | | 21,07 | 13,61 | 13,81 | 14,26 | 13,19 | 11,20 | 354 | 648 | 1023 (75м) | 12 (4) | 82—76 |
| 58 | Сямуна | 14 | 14,30 | 8,54 | 7,85 | 6,82 | 2,65 | 2,42 | (2,41) | 198 | 352 | 499 | 8 (3) | 58—52 |
| 59 | Козру | 11 | 7,33 | 12,23 | 14,87 | 8,83 | 11,58 | 8,28 | | 191 | 470 | 812 (75м) | 2 (1) | |
| 60 | Эранга | 11 | 15,19 | 14,83 | 14,70 | (5,62) | | | | 302 | 597 | 660 (47м) | 13 (4) | 4—59 |
| 61 | Ракке | 11 | 6,71 | 7,76 | 7,92 | 6,89 | 4,39 | ← 2,98 → | (3,04) | 135 | 292 | 556 | 7 (4) | 96—89 |
| 62 | Салла | 15 | 17,48 | 11,20 | 10,12 | 9,95 | 6,83 | ← 3,18 → | (4,01) | 324 | 535 | 921 | 11 (4) | 43—65 |

работ (Перенс, 1978, 1984). Следует отметить, что общее количество как скважин, так и расчетных групп увеличилось почти вдвое по сравнению с предыдущими исследованиями (Иыгар, 1972). По новым коэффициентам фильтрации определены также значения водопроницаемости 100-метровой карбонатной толщи, изолинии которой изображены на рис. 1. Одновременно на этом рисунке дается представление о среднем коэффициенте фильтрации, получаемым делением значения водопроницаемости на 100.

Значения параметров водопроницаемости коренных пород на территории возвышенности значительно превышают аналогичные, определенные в других регионах республики. Средний коэффициент фильтрации составляет 6—8, нередко 10—12 м/сут и больше. Высокие показатели по долине р. Валгейгы, юго-западной и юго-восточной частям возвышенности связаны, несомненно, с зонами тектонических нарушений. Впервые вырисовываются контуры площадей с более низкими параметрами в центральной и, особенно, в западной частях возвышенности.

Следует отметить, что породам возвышенности характерно меньшее затухание трещиноватости известняков с глубиной, что отражается на значениях водопроницаемости 20- и 40-метровых глубин. На фоне сравнительно высоких параметров лишь немногие горизонты, а именно — оандуский, кейлаский и вормиский, отличаются частично своими более низкими коэффициентами фильтрации. Это означает, что выделение водопорных слоев на основе только фильтрационных параметров, затруднительно.

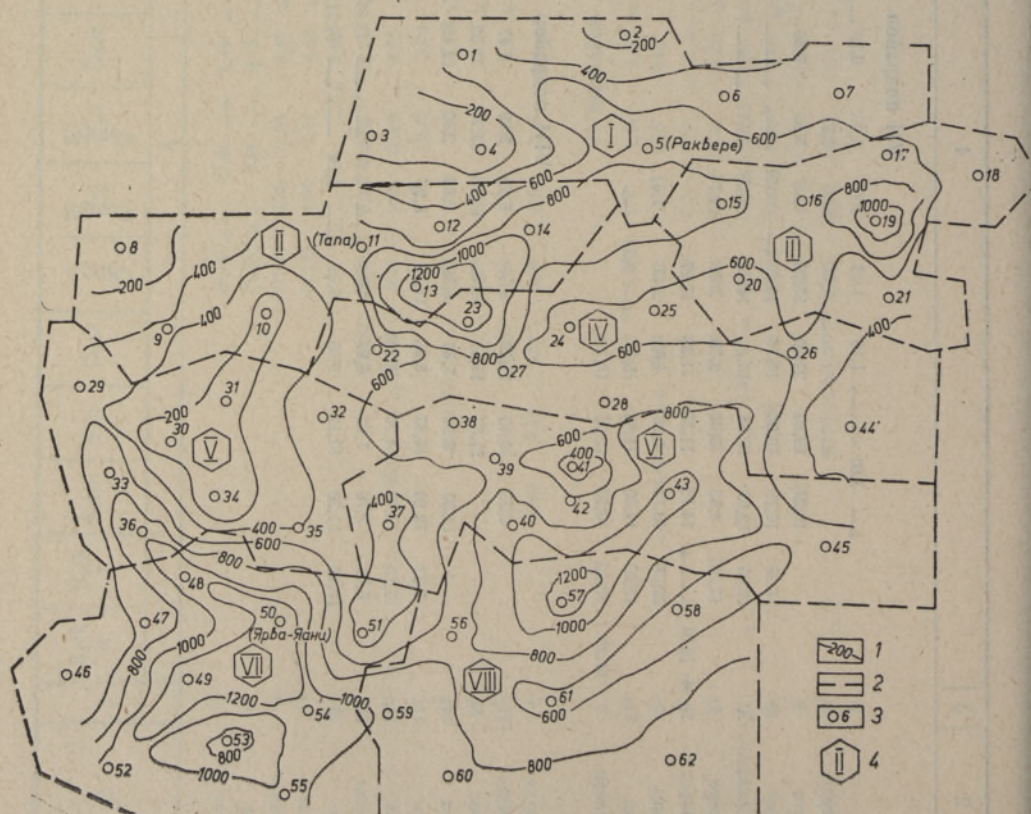


Рис. 1. Водопроницаемость ($\text{м}^2/\text{сут}$) 100-метровой толщи коренных пород Пандивереской возвышенности. 1 — изолиния водопроницаемости, 2 — граница подрайона, 3 — центр и номер группы скважин, 4 — подрайон.

Вопросы гидростратиграфии силурийско-ордовикской карбонатной толщи неоднократно обсуждались в специальной литературе и являлись до сих пор весьма дискуссионными. В настоящей статье будут сравниваться результаты двух наиболее перспективных направлений — расчетного метода определения схемы распределения водоупорных и водоносных слоев в гидрогеологическом разрезе, и метода расходомеррии, основанного на определении реальных зон водопитока и водопоглощения (далее как водоносные зоны) в конкретных гидрогеологических скважинах.

Алгоритм расчетного метода рассмотрен автором ранее (Иыгар, 1984). Отметим только, что в принципе можно по начальным данным рассчитать условные математические ожидания пьезометрического уровня и химического состава подземных вод (далее как химические компоненты) любого интервала. Далее, нас интересуют не конкретные значения этих параметров, а разности (дистанция D) между средними значениями соседних интервалов, обозначаемые для уровня $D_{ур}$ (м), для химического состава $D^I_{хим}$ (мг/л) и $D^{II}_{хим}$ (%-экв.). Путем подсчета определены также пороги распознавания (Π) для $D_{ур}$, $D^I_{хим}$, $D^{II}_{хим}$ данного региона в целом, исходя из априорных предположений наличия в разрезе соответственно водоупорных и водоносных слоев. Например, исходя из предположения, что в разрезе коренных пород возвышенности это соотношение составляет 1/2 : 1/2, Π 1/2 : 1/2 для $D_{ур}$ составляет 0,80 м, для $D^I_{хим}$ — 21,5 мг/л, а для $D^{II}_{хим}$ — 9,0 %-экв. Соответственно, Π 1/3 : 2/3 для уровня и химических компонентов составляет 1,26 м, 28,5 мг/л и 12,3 %-экв. соответственно.

Согласно алгоритму (Иыгар, 1984), расчетный метод позволяет определить разности D не только на стыках отдельных стратиграфических горизонтов, но и внутри последних (образно говоря, данная процедура похожа измерению разности потенциалов тестером при радиотехнических работах). На рис. 2, б показаны результаты сравнения (ниже или выше) разностей D с соответствующими порогами Π 1/2 : 1/2 — 1/10 : 9/10 по данным участка Мянниквяля. Разности измерены на расстоянии в 1/4, 1/2 (середина горизонта) и 3/4 от полной мощности горизонта.

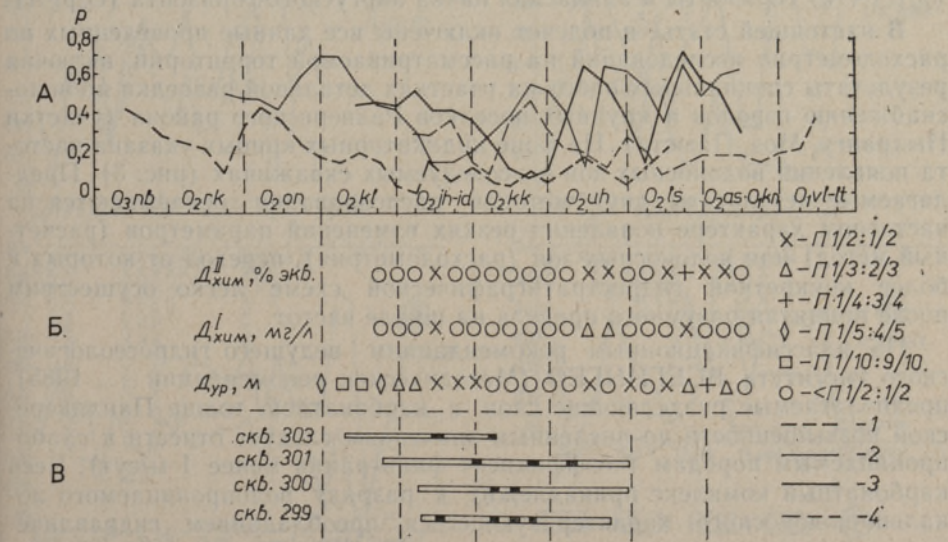


Рис. 2. Вероятностные оценки водоупоров. А — участки: 1 — Паюсти, 2 — Канткюла, 3 — Мянниквяля, 4 — Кабала; Б — результаты сравнения разностей $D_{ур}$, $D^I_{хим}$ с пороговыми значениями по данным участка Мянниквяля; В — расположение водоносных зон в гидрогеологических скважинах участка Мянниквяля.

Таким образом, на каждом участке соответствующей группы скважин можно определить гидростратиграфический разрез, который путем несложных расчетов легко преобразовать в кривую относительной (поскольку оценка зависит от постановки априорных условий) вероятностной оценки (p) наличия в данном месте разреза слабопроницаемых слоев (рис. 2, а)*.

Результаты сравнения отдельных групп скважин можно обобщить на более обширные площади, охватывающие несколько групп скважин. При этом желательно учесть вес площади той или иной группы (путем взвешивания), а также структуру вскрытости на рассматриваемых стыках. Кривые частоты появления предполагаемых слабопроницаемых слоев (далее как индикаторные кривые) можно определить на различных уровнях порогов. Для Пандиверёской возвышенности соответствующие кривые определены на уровнях порога $\Pi 1/2 : 1/2$ и $\Pi 1/3 : 2/3$ (рис. 3).

Нетрудно видеть, что наиболее «подвижным» и поэтому наименее надежным распознавательным фактором является уровень, а наиболее «инертным» — химический состав в процент-эквивалентной форме. Распознавание водоупоров производится на основе совпадения пиков (синфазности) индикаторных кривых уровня и одного из химических компонентов. Поскольку по алгоритму (Иыгар, 1984) расчеты и методы определения индикаторных кривых как уровня, так и химических компонентов независимы друг от друга, то синфазность обеих кривых является весьма существенным критерием наличия или отсутствия слабопроницаемых слоев в данном разрезе.

Интерпретация результатов расходометрических исследований сводится к подсчету водоносных зон и сопоставлению их со стратиграфическими горизонтами. Ранее Р. Перенсом (1978) сделана попытка расчленить гидрогеологический разрез в юго-западной части возвышенности на слабопроницаемые и водоносные слои. Установлено, что к первым относятся биоморфные известняки каринуской пачки юурского горизонта (рис. 3, верхняя часть S_{1jgT}) и весь маломощный (5—12 м) поркуниский горизонт (O_{3pk}), ко второй — райккюлаский (S_{1rk}) и юурский ($S_{1jgT} + V$) горизонты и адилаская пачка пиргуского горизонта (O_{3pgA}).

В настоящей статье в подсчет включены все данные проведенных по расходометрии исследований на рассматриваемой территории, включая результаты специальных работ на участках детальной разведки по водоснабжению городов и крупных поселков Раквереского района (участки Пыдрангу, Моэ, Паюсти). На фоне индикаторных кривых указана частота появления водоносных зон в исследуемых скважинах (рис. 3). Предлагаемые результаты двух методов распознавания основываются на частотном характере появления резких изменений параметров (расчетный метод) или водоносных зон (расходометрия), переход от которых к более конкретной гидростратиграфической схеме легко осуществим после принятия разумного предела на шкале частот.

По классификационным рекомендациям ведущего гидрогеологического института ВСЕГИНГЕО (Методические рекомендации..., 1985), предполагаемые разделяющие слои в карбонатной толще Пандиверёской возвышенности по численным значениям следует отнести к слабопроницаемым породам (коэффициент фильтрации менее 1 м/сут). Весь карбонатный комплекс принадлежит к разряду водопроницаемого локально-водоносного, характеризующегося преобладанием гидравличе-

* Кривые вероятностной оценки, представленные на рис. 2, а рассчитаны при следующих условиях: а) химическим компонентам уделено 72% «распознавательного» веса, причем $D_{хим}^{II}$ составляет 40%, б) учтены структура вскрытия коренных пород скважинами в данной группе (в 4-балльной системе) и в) разности D ниже порога $\Pi 1/2 : 1/2$.

ски связанных между собой водоносных пород, разделенных регионально невыдержанными слабопроницаемыми породами.

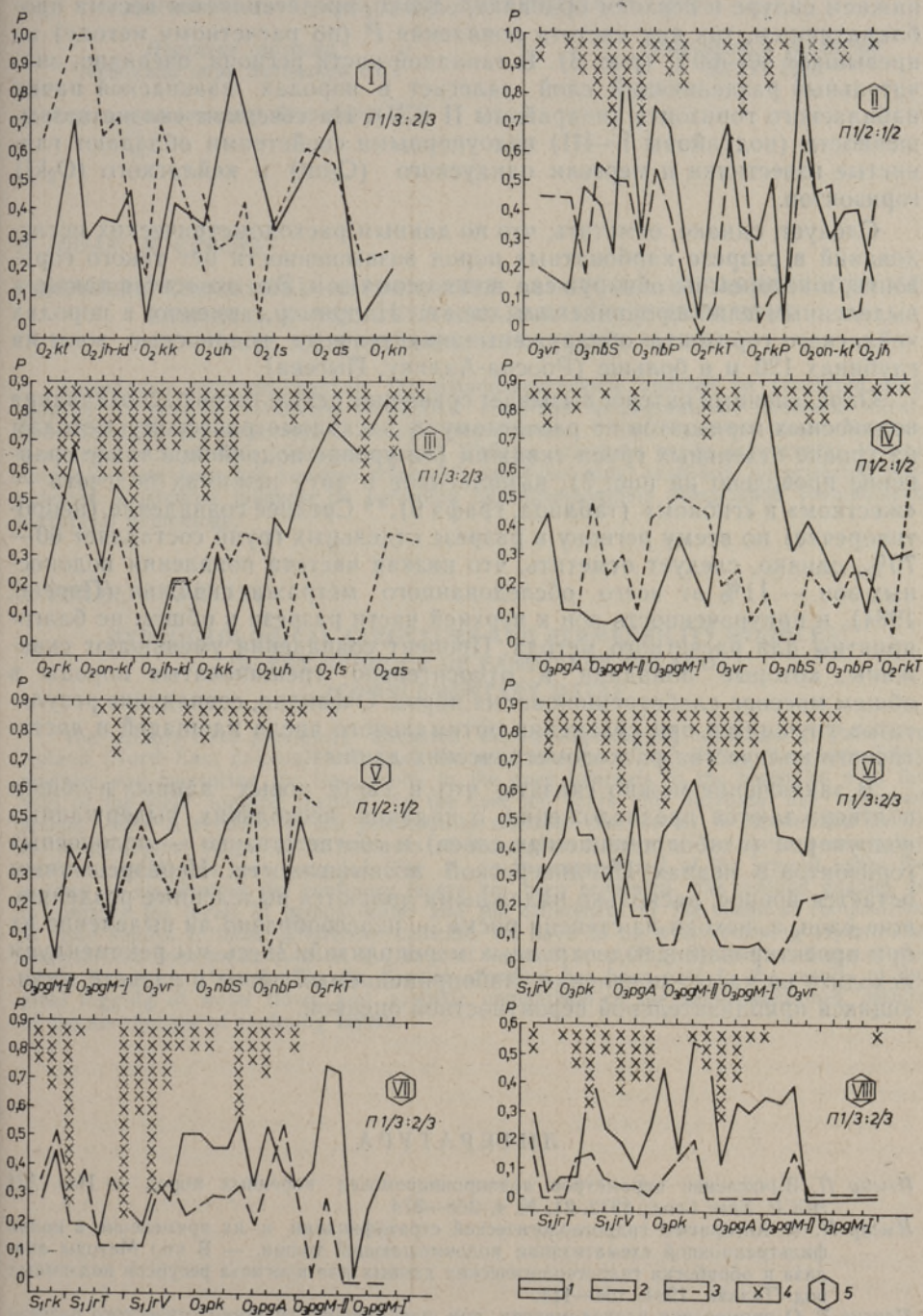


Рис. 3. Индикаторные кривые распознавания водоупоров и водоносных горизонтов по расчетному методу (1—3) и расходометрическим данным (4). 1 — уровень, 2 — D^I мг/л, 3 — D^{II} , %-экв., 4 — водоносная зона, 5 — подрайон.

Сравнение двух методов позволяет выявить, насколько выдержаны слабопроницаемые и водоносные слои в гидрогеологическом разрезе региона. Не вызывают сомнений более или менее водоупорные свойства пород поркуниского горизонта. Выделение других разделяющих слоев в нижнем силуре и верхнем ордовике, однако, представляется весьма проблематичным, так как частота появления P (по расчетному методу) не превышает 40—60% (рис. 3). В западной части региона, очевидно, значительный разделяющий слой залегает в породах пазкнаской пачки набалаского горизонта (подрайоны II и V). На северном склоне возвышенности (подрайоны I—III) водоупорными свойствами обладают глинистые известняки и мергели оандуского (O_2on) и кейлаского (O_2kl) горизонтов.

Следует, однако, отметить, что по данным расходометрических исследований в разрезе карбонатных пород возвышенности нет такого горизонта, в котором не обнаружено водоносных зон. Это относится также к выделенным слабопроницаемым слоям. Например, именно в породах кейлаского горизонта обнаружены значительные водоносные зоны на глубинах 120 м и больше (Роосна-Аллику, Йыгева).

Определенный интерес вызывает сравнение результатов распознавания водоносных горизонтов по расчетному и расходометрическому методам на уровне отдельных групп скважин (на уровне подрайонов такое сравнение проведено на рис. 3), выполненное в двух режимах подсчета — «жестком» и «гибком» (таблица, графа 9).** Среднее совпадение (непротиворечие) по всему региону в разрезе отдельных групп составляет 60—70%, однако, следует отметить, что низкая частота появления водоносных зон — 11% от всего обследованного метража скважин (Перенс, 1984), и приуроченность зон к верхней части разреза в общем не благоприятны для расчетного метода. Процент совпадения уменьшают скважины, которые попадали в относительно трещиноватые породы в общем массиве слаботрещинчатых пород. Очевидно, совпадение результатов улучшится при сравнении оптимального числа площадей и достаточного количества расходометрических данных.

В заключение можно сказать, что в свете новых данных в общем подтверждаются предположения о наличии нескольких выдержанных водоупоров (слабопроницаемых слоев) и соответственно — водоносных горизонтов в недрах Пандивереской возвышенности. Неразрешенным остается вопрос, насколько надежными являются выделенные разделяющие слои, и, исходя из степени риска — целесообразно ли выделение их при проектировании водоохранных мероприятий. Здесь мы рекомендуем исходить из частот появления слабопроницаемых пород в разрезе, являющихся приблизительной вероятностной оценкой.

ЛИТЕРАТУРА

- Йыгар П. Вычисление параметров водопроницаемости коренных пород. — Изв. АН ЭССР. Хим. Геол., 1972, 21, № 4, 368—374.
- Йыгар П. Э. Алгоритмы гидрогеологической стратификации и их применение в целях фильтрационной схематизации водовмещающей толщи. — В кн.: Методы анализа и обработки гидрогеологических данных для прогноза ресурсов подземных вод. Таллин, 1984, 104—111.
- Перенс Р. О применении расходометрии при расчленении гидрогеологического разреза карбонатной толщи на Пандивереской возвышенности. — Изв. АН ЭССР. Геол., 1978, 27, № 4, 130—139.

** В «жестком» режиме (первая цифра в графе 9) совпадение результатов отвергается при превышении порога $\Pi \frac{1}{3} : \frac{2}{3}$ даже у одного из химических компонентов.

Перенс Р. М. Изучение фильтрационных свойств силурийско-ордовикской карбонатной толщи Эстонии с помощью расходомерии. — В кн.: Методы анализа и обработки гидрогеологических данных для прогноза ресурсов подземных вод. Таллин, 1984, 100—103.

Методические рекомендации по составлению и подготовке к изданию Государственной гидрогеологической карты СССР. ВСЕГИНГЕО. М., 1985.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
30/XII 1985

Управление геологии Эстонской ССР

P. JÖGAR, R. PERENS

PANDIVERE KÕRGUSTIKU KARBONAATSE ALUSPÕHJA HÜDROGEOLOOGILISE LÄBILÕIKE JA VEEJUHTIVUSPARAMEETRITE TÄPSUSTUS UUTE KAARDISTAMISPUURAUKUDE ALUSEL

Täiendavate hüdrogeoloogiliste kaardistamispuuraukude andmeil on arvutatud ning esitatud: 1) tabelina Pandivere kõrgustiku aluspõhja stratigraafiliste lademete filtratsioonimoodulid ($m/\ddot{o}p\ddot{a}evas$); 2) veejuhtivusparameetri T ($m^2/\ddot{o}p\ddot{a}evas$) kaart. Arvutusmeetodiga, mis põhineb hüdrogeoloogilise läbilõike erinevate osade (sügavuste) taseme ning põhjavete keemilise koostise erinevuste loendusel ning analüüsil, on eristatud vee-
pidemed. Eristamise tulemusi on võrreldud hüdrogeoloogiliste puuraukude vooluhulkade karrotaazi andmetega.

P. JÖGAR, R. PERENS

HYDROGEOLOGICAL STRUCTURE AND PERMEABILITY MODULES OF THE BEDROCK OF PANDIVERE UPLAND (COMPLEMENTARY DATA)

The authors have previously discussed the hydrogeological structure of Pandivere Upland (North-East Estonia) both from the point of view of calculating the permeability modules and measuring the flow debits in the open intervals in the boreholes with the help of the yield logging method. In the past ten years the database has increased almost twice. A revision of the permeability modules (the Table) is represented (m/d) in the geological stages of 62 subareas of the region. A map of the water permeability modules (m^2/d) has been compiled (Fig. 1). In the second part of the present paper the method of distributing the confining layers has been presented. The method enables us to compare the levels of ground-water and the differences of the chemical composition at close depths. If those differences coincide, we have to do with confining layers. The analysis has been made both on the data of a small area (Fig. 2) and on those of the whole Pandivere Upland (Fig. 3). Special attention has been paid to the results of the yield logging of water flows and to their comparison of the above-mentioned results of the distribution of confining layers.