

5. Данилович, Д. А. Расчет и технологическое проектирование сооружений биологической очистки городских сточных вод в аэротенках с удалением азота и фосфора / Д. А. Данилович, А. Н. Эпов. – М.: Мир, 2020. – 225 с.

6. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.03-85. – Введ. 01.01.1986. – Москва: ФГУП ЦПП, 2006. – 87 с.

7. Мишуков, Б. Г. Мембранные биологические реакторы для глубокой очистки сточных вод: учебное пособие / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2017. – 64 с.

8. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen: DWA-A 131. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. – Hennef, 2016. – 68 s.

9. Henkel, J. Oxygen Transfer Phenomena in Activated Sludge: dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) / J. Henkel. – Darmstadt, 2010. – 179 s.

УДК 628.11(16)

### **Водоносные слои и подземная вода как факторы внутрипластовой обработки в скважинах**

Рашкевич Е. И.

Витебское областное коммунальное унитарное предприятие  
водопроводно-канализационного хозяйства «Витебскоблводоканал»  
Витебск, Республика Беларусь

*В статье дана характеристика водоносных слоев и состава подземных вод как основных факторов внутрипластовой обработки в скважинах. Рассмотрены отличия этих факторов в зависимости от типа подземных слоев и изменения состава подземных вод.*

В России и странах Западной Европы довольно широко применяется метод внутрипластовой обработки подземных вод для удаления железа непосредственно в водоносных слоях скважин (in-situ) [1; 2]. Технологическая и экономическая эффективность данного метода оценивается исходя из минералого-литографического состава водоносных слоев и химического состава подземных вод. Эти факторы могут отличаться от географического района их расположения.

Гидрогеологические четвертичные подземных пород сплошным чехлом перекрывают всю территорию республики [3; 4], мощностью от нескольких до 300–325 м, средняя величина около 80 м.

В толще выделяются ряды горизонтов и подгоризонтов, причем водовмещающими породами служат водно-ледниковые отложения верхнечетвертичного поозерского образования.

Толща четвертичных отложений находится в верхней части зоны активного водообмена всего геологического комплекса отложений Беларуси, что предопределяет формирование здесь пресных и ультрапресных подземных вод преимущественно гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава. Их минерализация варьирует от 15 до 700 мг/дм<sup>3</sup> и более, составляя в среднем 200–400 мг/дм<sup>3</sup>.

В составе подземных пород могут быть по вертикали один или несколько водоносных слоев (горизонтов, пластов), локально водоносного, слабОВОдоносного или практически водоупорного характера.

Подземные воды рассматриваются как основной источник централизованного водоснабжения населения Республики Беларусь, поскольку они считаются более надежными в гигиеническом и эпидемиологическом отношении.

Для систем водоснабжения водоносным горизонтом считают зону под поверхностью земли, которая способна обеспечить добычу воды в масштабах, имеющих практическое (экономическое, стратегическое, промышленное и т. д.) значение.

Объектом исследования являются водоносные слои и подземные воды скважин Витебской области.

Подземные воды на территории области расположены в породах кристаллического фундамента и осадочных образований верхнего протерозойско-кайнозойского [3; 4]. По гидрогеологическим изысканиям (разведочные и существующие водозаборные скважины приняты как аналоги) и при бурении новых скважин в 2018–2022 гг. в Витебской области было установлено, что водоносные слои широко представлены тонкими и мелко-среднезернистыми песками, песчаниками, алевролитами, известняками и доломитами [3; 4].

Песчаные водоносные породы распространены в Витебской области повсеместно (порядка 70–80 %), особенно в центральной и западной ее частях. Образовались в результате протекания процессов осадконакопления в самых различных тектонических и фациальных обстановках. Представляют собой рыхлые слои мелкообломочных пород, состоящие преимущественно из минералов и обломков горных образований, размер которых составляет от 0,01 до 1 мм с коэффициентом фильтрации до 50 м/сут и плотностью 1,03–1,7 т/м<sup>3</sup> [4; 5].

Часто тонкозернистые и пылевидные пески объединяют в одну категорию. В песчаных породах в виде примеси может присутствовать глина, но не более 10 %.

Также наблюдаются разномерные пески с выделением из общей массы более крупных зерен. По форме могут быть, полукатанными и окатанными, реже угловатыми, все они, как правило, ориентированные в одну сторону движения подземных вод.

Цементированные пески называются песчаниками. Представляет собой камень, который относится к осадочным породам. Песчаник может быть плотным или трещиноватым, в последнем случае этот слой является водоносным. Алевриты также представляют мелкообломочные породы, состоящие преимущественно из минералов размером от 0,01 до 0,1 мм. Рыхлые разновидности называются алевритами, цементированные – алевролитами. В скважинах Витебской области алевриты встречаются в юго-восточной, а песчаники в восточной и северо-западной части.

Карбонатные породы относятся к числу широко распространенных осадочных образований. Для отнесения породы к группе карбонатных необходимо, чтобы в ней содержалось не менее 50 % карбонатного материала, представляющего собой соли угольной кислоты.

Наиболее характерными представителями карбонатных пород являются известняки, доломиты и их смешанный состав, например, известняк доломитовый или доломит известковый и т. д. При использовании доломитов и известняков в качестве водоносных слоев, необходимо оценивать структуру пористого пространства. Коэффициент фильтрации может достигать 100 и более м/сут, а плотность – 2,36–3,19 т/м<sup>3</sup>. Малая пористость, высокая водопроницаемость, небольшое содержание связанной воды свидетельствуют о крупных порах и трещинах.

Применительно к системам водоснабжения малых населенных мест или отдельных предприятий, для забора подземных вод используются скважины в количестве 1–2 шт. и, как правило, глубиной 35–100 м.

Рассмотрим водоносные песчаные слои и состав подземных вод на примере двух скважин № 1 и № 2, расположенных в малом населенном пункте в Докшицком районе Витебской области.

Для ведения процессов внутрипластовой обработки в скважинах необходимо знать характеристики слагающих водоносных слоев в скважинах и состава подземной воды, которые позволят определить основные параметры работы скважин, по объемам закачки обогащенной кислородом воздуха воды и ее последующей откачки на водопроводную сеть населенного пункта.

Данные скважины имеют глубину порядка 39 м и имеют несовершенный характер. Гидрогеологический разрез свидетельствует о наличии верхнего водоупорного слоя из суглинка и глины и двух нижних водоносных слоев, представленных пылевидным и мелко-среднезернистым песком. По своему составу они являются полиминеральными кварцево-полевошпатовыми

(кварц – 50–90 %, полевые шпаты – 50–10 %). Общая высота рассматриваемого водоносного слоя до низа скважин составила 22,7 м.

Для определения гранулометрического состава водоносного слоя при промывке скважины были отобраны две пробы тонкого и мелко-среднезернистого песка, высушенных до постоянной массы образцов, по 100 г. Анализ проб производился при помощи ситового отсева на наборе калиброванных сит С12/38 и С20/38 в диапазоне отверстий 0,035–0,63 мм по ГОСТ 12536-2014. Результаты приведены на рис.

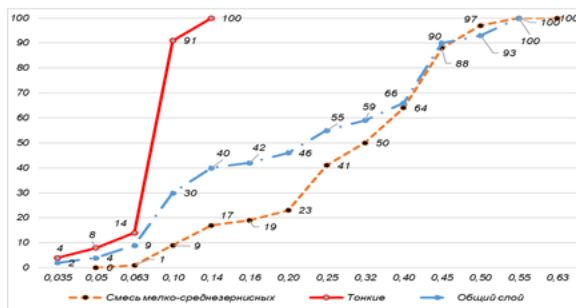


Рис. Ситовый анализ фильтрующего материала водоносного слоя скважин

Анализ гранулометрического состава водоносного слоя скважин показывает следующее.

Основная масса пылевидного (тонкого) песка содержится во фракции 0,1 мм – 77 %, менее 0,1–14 %, более – 9 %.

Содержание мелкозернистого песка по сравнению со среднезернистым составом составляет 41 %, то есть эта смесь представляет собой разнозернистый слой с общей массой более 70 %, что допустимо.

Учитывая расположения фильтра скважин в нижнем слое, можно предположить, что основным водоносным слоем является мелко-среднезернистый песок.

Для этой смеси определим его основные показатели.

Характерные диаметры зерен составили:  $d_{\min} = 0,035$ ;  $d_{\max} = 0,55$ ;  $d_{10} = 0,105$ ;  $d_{50} = 0,235$ ;  $d_{80} = 0,425$  мм.

Эквивалентный диаметр зерен  $d_s$  равен

$$d_s = \frac{\sum P_i d_i}{\sum P_i} = \frac{29,6}{100} = 0,3, \quad (1)$$

где  $P_i$  – процентное содержание массы, прошедшей калибр сит  $d_i$ , %.

Коэффициент неоднородности смеси песка  $K_H$  определен по формуле

$$K_H = \frac{d_{80}}{d_{10}} = 4,05. \quad (2)$$

Коэффициент фильтрации  $K_f$  (м/сут) численно равен скорости прохождения воды через песок при единичном напоре. В расчетах часто используют  $K_{f10}$  – коэффициент фильтрации, приведенный к температуре подземной воды в 10 °С.

Учитывая результаты гранулометрического состава песков и другие данные, в первом приближении примем следующие средние значения коэффициента фильтрации. Для пылевидного водоносного слоя  $K_{фп} = 0,75$  м/сут, а смеси мелко-среднезернистого песка

$$K_{фс} = 3 \cdot 0,41 + 10 \cdot 0,59 = 7,13 \text{ м/сут}. \quad (3)$$

Основные показатели по составу подземных вод Республики Беларусь, Витебской области и скважин №№ 1 и 2 приведены в табл.

Таблица  
Средний состав артезианских подземных вод Республики Беларусь, Витебской области и скважин №№ 1 и 2 [6; 7]

| Показатели состава подземной воды                  | Республика Беларусь |                   | Витебская область      |                        | Скважины №№ 1, 2      |
|--|---------------------|-------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
|  | грунт. воды         | артезианские воды | грунт. воды            | артезианские воды      |                       |
| 1  | 2                   | 3                 | 4                      | 5                      | 6                     |
| Мутность, ПДК = 1,5 мг/дм <sup>3</sup>             | 2,5                 | 1,7               | <u>0,1–15,8</u><br>1,0 | <u>0,1–12,5</u><br>1,0 | <u>2–9,5</u><br>4,5   |
| Цветность, ПДК = 20 град                           | 15                  | 12                | <u>5–50</u><br>14      | <u>5–45</u><br>12      | <u>5–15</u><br>10     |
| Величина рН<br>ПДК = 6–9                           | 7,75                | 7,75              | <u>7,1–8,5</u><br>7,3  | <u>7,1–8,5</u><br>7,3  | <u>7,5–8,2</u><br>7,7 |
| Величина ОВП (Eh)                                  | –                   | –                 | <u>25–160</u><br>100   | <u>25–140</u><br>75    | <u>65–75</u><br>70    |
| Общая минерализация, ПДК = 1000 мг/дм <sup>3</sup> | 270                 | 500               | <u>70–2700</u><br>180  | <u>180–2700</u><br>260 | <u>460–480</u><br>470 |
| Жесткость, ПДК = 7 мгэкв/дм <sup>3</sup> :         |                     |                   | <u>2,8–16</u><br>3,5   | <u>3,5–48</u><br>4,8   | <u>7,0–8,0</u><br>7,2 |
| – общая  | 3,1                 | 2,95              | –                      | –                      | –                     |
| – карбонатная                                      | 2,8                 | 2,65              | –                      | –                      | –                     |

## Окончание таблицы

| 1  | 2          | 3            | 4                         | 5                         | 6                          |
|--|------------|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Общая минерализация,<br>ПДК = 1000 мг/дм <sup>3</sup>                      | 270        | 500          | <u>70–2700</u><br>180     | <u>180–2700</u><br>260    | <u>460–480</u><br>470      |
| Жесткость,<br>ПДК = 7 мгэкв/дм <sup>3</sup> :<br>– общая<br>– карбонатная  | 3,1<br>2,8 | 2,95<br>2,65 | <u>2,8–16</u><br>3,5<br>– | <u>3,5–48</u><br>4,8<br>– | <u>7,0–8,0</u><br>7,2<br>– |
| Окисляемость перманганатная, ПДК = 5 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>     | 3,8        | 3,5          | <u>35–30,0</u><br>4,0     | <u>2,3–15,0</u><br>3,5    | <u>1,4–3,5</u><br>2,3      |
| Натрий (Na <sup>+</sup> ),<br>ПДК = 200 мг/дм <sup>3</sup>                 | 8,75       | 8,95         | <u>60–150</u><br>70       | <u>60–150</u><br>70       | 65                         |
| Калий (K <sup>+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>                                | 3,1        | 2,4          | <3,0                      | <3,0                      | 1,1                        |
| Кальций (Ca <sup>2+</sup> ),<br>мг/дм <sup>3</sup>                         | 43,6       | 43,4         | <u>32–320</u><br>60       | <u>40–750</u><br>71       | 110                        |
| Магний (Mg <sup>2+</sup> ),<br>мг/дм <sup>3</sup>                          | 10,3       | 9,5          | <u>2–45</u><br>6          | <u>10–50</u><br>15        | 24                         |
| Железо общее (Fe <sup>0</sup> ),<br>ПДК = 0,3 мг/дм <sup>3</sup>           | 2,35       | 2,83         | <u>1,6–10,0</u><br>2,9    | <u>0,5–8,0</u><br>2,4     | <u>1,5–3,1</u><br>2,9      |
| Марганец общий (Mn <sup>0</sup> )<br>ПДК = 0,1 мг/дм <sup>3</sup>          | 0,15       | 0,2          | <u>0,1–1,5</u><br>0,17    | <u>0,1–1,5</u><br>0,23    | <u>0,08–0,46</u><br>0,16   |
| Аммоний-ион (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ),<br>ПДК = 2 мг/дм <sup>3</sup> | 0,6        | 0,47         | <u>0,1–6,5</u><br>0,38    | <u>0,1–6,5</u><br>0,38    | <u>0,2–2,5</u><br>0,45     |
| Нитриты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ),<br>ПДК = 2 мг/дм <sup>3</sup>     | 0,23       | 0,3          | <u>0,1–7,5</u><br>0,5     | <u>0,1–5,4</u><br>0,35    | ≤0,2                       |
| Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ),<br>ПДК = 45 мг/дм <sup>3</sup>    | 8,0        | 5,1          | <u>5–90</u><br>18,0       | <u>5–110</u><br>26,0      | ≤20                        |
| Хлориды (Cl <sup>-</sup> ),<br>ПДК = 350 мг/дм <sup>3</sup>                | 23         | 16,3         | <u>10–420</u><br>19,0     | <u>10–420</u><br>19,0     | 65                         |
| Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ),<br>ПДК = 500 мг/дм <sup>3</sup> | 12,8       | 9,8          | <u>3,5–2500</u><br>11,0   | <u>3,5–2500</u><br>11,0   | 50                         |
| Бикарбонаты (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ),<br>мг/дм <sup>3</sup>        | 160,2      | 172,8        | <u>110–280</u><br>130,0   | <u>160–380</u><br>170,0   | 175                        |
| Свободная углекислота (CO <sub>2</sub> ),<br>мг/дм <sup>3</sup>            | 7,0        | 6,2          | –                         | –                         | –                          |
| Диоксид кремния (SiO <sub>2</sub> ),<br>ПДК = 10 мг/дм <sup>3</sup>        | 6,4        | 9,1          | <u>6–18</u><br>6,8        | <u>6–18</u><br>6,8        | 7                          |

В результате выполненного анализа гидрогеохимических данных за 2021–2022 гг. установлено, что, практически на всей местности Республики Беларусь отмечается повышенное содержание общего железа (свыше 80 %). Часто железу во многих случаях, сопутствуют марганец и аммонийные

соли. По Витебской области, особенно в Докшицком и Лиозненском районах, отмечены места со значительным содержанием сульфатов 600–2500 и нитратов 50–110 мг/дм<sup>3</sup>. На западном направлении области в скважинах наблюдается повышенная концентрация иона аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) до 6,5 мг/дм<sup>3</sup> и окисляемости до 15 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, основными загрязнителями подземных вод в Витебской области являются железо, марганец и ионы аммония. Исключение составляют локальные участки, где выявлены превышения ПДК по окисляемости перманганатной, диоксиду кремния, нитратам и сульфатам, а также органолептическим свойствам: цветность и мутность.

В рассматриваемых скважинах концентрации этих загрязнений изменяются по сезонам года довольно значительно. Так общее железо весной и осенью составляет 2,5 и более, а зимой и летом снижается до 1,5–1,8 мг/дм<sup>3</sup>, по марганцу наоборот 0,11 и 0,46 мг/дм<sup>3</sup>. Особенно резко может изменяться концентрация иона аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) весной и летом – 0,2–0,4, а в остальное время возрастает до 2,5 мг/дм<sup>3</sup>.

В целом установлено, что такие показатели, не удовлетворяющие установленным нормам, формируются под влиянием как антропогенных (сельскохозяйственное), так и природных (высокая проницаемость покровных отложений, присутствие фульво- и гуминовых веществ в почве, литологический состав водовмещающих пород, обильные выпадения атмосферных осадков) гидрогеологических факторов.

Полученные данные будут использованы при определении производительности рассматриваемых скважин на стадиях «закачка-откачка» процессов внутрислоевого обработки воды

### Литература

1. Коммунар, Г. М. Обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте / Г. М. Коммунар [и др.] // Жур. строит. и недвиж. – 1997. – № 49. – С. 12–16.
2. Рашкевич, Е. И. Закачка воды в подземный водоносный пласт скважины из пылевидного и средне-мелкозернистого песка при малом водопотреблении / Е. И. Рашкевич [и др.] // Вест. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф., Строительство. Прикладные науки. – 2022. – № 14. – С. 64.
3. Гледко, Ю. А. Гидрогеология / Ю. А. Гледко. – Минск: Вышэйшая школа, 2012. – 446 с.
4. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 261 с.
5. Ежова, А. В. Литология: учебник для ВУЗов/ А. В. Ежова; Том. полит. ун-т. – Томск, 2009. – 2 изд. – 336 с.

6. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Глав. инф.-анал. центр Нац. сист. монит. окруж. среды Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by>. – Дата доступа: 20.12.2022.

7. North Belarus Clean Water Sub-Project: Technical Assessment Report / EBRD. – Prague., 2018. – 229 p.

УДК 628.3

### **Подземные воды как полезное ископаемое**

Баллыева Н. Ш.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт  
Ашхабад, Республика Туркменистан

*В научной статье описаны содержание, запасы и способы добычи полезных элементов, в результате очистки подземных вод. Приведены примеры исследования мирового опыта с целью необходимости определения целесообразности количества полезных компонентов, подлежащих извлечению из подземных вод Туркменистана, в зависимости от состояния техники и гидрогеологических условий.*

Объем мирового потребления воды составляет 25 % водных ресурсов планеты и, по оценкам ООН, составляет 3973 км<sup>3</sup>. Человечеству в целом не угрожает недостаток чистой питьевой воды, и «водный паек» человечества остается неизменным [3].

Из общего объема воды на Земле столь нужная для человечества пресная вода составляет 2,5 процента. И это из всей величины гидросферы – водной оболочки земли, представляющей собой совокупность морей, океанов, поверхностных вод суши, подземных вод, льдов, снегов Антарктиды и Арктики, атмосферных вод, или примерно 35 млн м<sup>3</sup>. Этот объем превышает нынешние потребности человечества более чем в 10000 раз, а остальные 97,5 % емкости гидросферы составляют воды мирового океана и соленые воды поверхностных и подземных озер.

подавляющая часть пресных вод (70 %) находится в полярных и горных льдах и вечной мерзлоте, которые практически не используются, всего лишь 0,12 % общего объема гидросферы составляют поверхностные воды рек, пресноводных озер, болот. Главным источником удовлетворения потребностей человечества в пресной воде являются речные воды. Их единовременная емкость крайне мала – 1,3 тыс. км<sup>3</sup>, но поскольку это количество возобновляется 23 раза в течение года, то фактическая цифра доступных