

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл, Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием. Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству . Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем. Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский Национальный Технический Университет

На правах рукописи

УДК 628.112.4

Шейко Андрей Михайлович

**Районирование территории Республики Беларусь по применению методов регенерации водозаборов подземных вод**

Специальность 70 04 01 – Водохозяйственное строительство

Магистерская диссертация  
на соискание степени магистра технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук, доцент

Ивашечкин Владимир Васильевич

**МИНСК 2004**

ОГЛАВЛЕНИЕ

	3
ВВЕДЕНИЕ	СТР.
ГЛАВА 1 Подземные воды как источник водоснабжения.....	5
1.1. Краткий обзор природных условий территории.....	5
1.2. Водоносные горизонты и комплексы как источник водоснабжения.....	14
1.3. Анализ систем водоснабжения из подземных источников в Беларуси....	23
ГЛАВА 2 Кольматаж фильтров скважин как фактор, влияющий на снижение их про- изводительности.....	25
2.1. Механический кольматаж фильтров и прифильтровых зон скважин и меры по его предупреждению.....	27
2.2. Химический кольматаж фильтров и прифильтровых зон скважин и меры по его предупреждению.....	29
2.2.1. Геохимическая характеристика подземных вод зоны активного водо- обмена как среды кольматантообразования.....	38
2.2.2. Биологический кольматаж скважин.....	44
2.3. Биологический кольматаж скважин.....	44
ГЛАВА 3 Ремонт скважин, оборудованных фильтрами, и методы восстановления их производительности.....	47
3.1. Факторы, влияющие на продолжительность работы скважин.....	49
3.2. Импульсные методы .....	61
3.3. Реагентные методы.....	62
3.4. Комбинированные методы.....	65
3.5. Опыт восстановления фильтров скважин различными методами в Белару- си.....	70
3.6. Расчет экономической годовой эффективности.....	73
ГЛАВА 4 Оптимизация и эффективность работы водозаборных скважин.....	75
4.1. Прогноз кольматажа скважин и определение рациональных сроков их регенерации.....	75
4.2. Районирование территории Республики Беларусь по характеру кольматации и регенерации фильтров скважин.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	

**Актуальность темы диссертации.** В связи с постоянным ухудшением качества поверхностных вод, вызванных увеличивающимися выбросами отходов существующих и вновь построенных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, с каждым годом увеличивается забор воды из подземных источников водоснабжения. Значительное удорожание строительства новых водозаборных скважин делает актуальным поддержание стабильного режима эксплуатации уже существующих подземных водозаборов, продление срока их службы и обеспечение приемлемого качества воды путем проведения мероприятий по очистке, дезинфекции, ремонту и техническому обслуживанию водозаборных скважин с минимальным вредным воздействием на окружающую среду.

**Цель и задачи исследований.** Целью диссертации является исследование процессов, которые влияют с различной степенью интенсивности на снижение производительности водозаборных скважин во времени, установление причин и механизмов кольматажа фильтров, а также разработка практических рекомендаций по применению методов регенерации скважин водозаборов Республики Беларусь в конкретных геологических, гидрологических, гидрохимических условиях, с минимизацией вредного воздействия на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) исследование геологических, гидрогеологических и гидрохимических условий районов распространения основных водоносных горизонтов и комплексов Республики Беларусь; 2) оценка комплексного влияния гидрогеохимических и гидродинамических факторов на процессы снижения производительности водозаборных скважин; 3) обоснование применения способов восстановления (регенерации) производительности скважин в зависимости от кольматантообразующих процессов; 4) разработка мероприятий по оптимизации режимов работы водозаборных скважин с целью предупреждения процессов снижения производительности и ликвидации последствий кольматажа; 5) районирование территории Республики Беларусь по характеру кольматации фильтров скважин и по декольматации.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются факторы, влияющие на снижение производительности работы скважин. Предметом исследования являются способы регенерации фильтров водозаборных скважин.

**Методология и методы проведенного исследования.** В работе использовались теоретические методы исследований, включающие метод математической статистики обработки исходных данных с целью установления корреляционных связей между переменными, определения основных численных статистических характеристик распределения

случайной величины, аппроксимации теоретической кривой эмпирических данных старения скважин, методику определения значения индекса стабильности и насыщения, метод определения межремонтного периода.

**Научная новизна полученных результатов.** 1) Произведен статистический анализ данных скважин водозаборов г. Минска; 2) Установлены межремонтные периоды для конкретных гидрогеологических условий; 3) Выполнено районирование территории Республики Беларусь по способам регенерации водозаборных скважин коммунальных систем водоснабжения; 4) Определены рекомендации по оптимизации условий и режимов эксплуатации водозаборов подземных вод для условий Республики Беларусь.

**Практическая ценность.** Результаты выполненных исследований являются научно обоснованным базисом для возможности применения способов регенерации фильтров скважин с целью: 1) Повышения производительности водозаборов подземных вод; 2) Продления срока службы водозаборных скважин; 3) Уменьшение материальных и энергетических ресурсов за счет проведенных ремонтных и профилактических мероприятий с минимизацией влияния на окружающую среду.

**Объем и структура диссертации.** Работа состоит из введения, 4-х глав и заключения, и содержит 93 страницы текста, 19 рисунка, 15 таблиц и список использованных источников (30 наименований).

## ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАК ИСТОЧНИК ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### 1.1. Краткий обзор природных условий территории

**Особенности рельефа.** Беларусь расположена в пределах западной части Русской равнины. Абсолютные высоты варьируют от 80 до 360 м. Средняя высота поверхности около 160 м. Рельеф характеризуется преобладанием плоских и пологоволнистых равнин, речных долин и грядово-увалисто-холмистых комплексов различного размера и конфигурации [15].

Рельефообразующими являются главным образом отложения антропогена, которые представлены собственно ледниковыми (моренными, 52%), флювиогляциальными (31%) и ледниково-озерными отложениями (5%). На генетические типы перигляциальной формации приходится около 7%. Межледниковые и современные аллювиальные, озерные, болотные, эоловые и прочие комплексы составляют всего 5%.

Степень денудационного преобразования, морфологические особенности и возраст рельефа территории республики изменяются в направлении с севера на юг. В северной части развит преимущественно ледниково-аккумулятивный рельеф поозерского оледенения с обилием озер, бессточных котловин, плоских заболоченных низин, окаймленных и разделенных группами холмов с системами краевых гряд.

Для центральной части характерен заметно денудированный, преимущественно ледниково-аккумулятивный рельеф сожского оледенения. Здесь развита система краевых возвышенностей и платообразных равнин, являющихся частью водораздела бассейнов Балтийского и Черного морей. И, наконец, на юге распространен денудированный ледниково-аккумулятивный рельеф сожского и днепровского оледенений.

Облик земной поверхности постоянно изменяется под воздействием как эндогенных, так и экзогенных процессов. В последние десятилетия все большее распространение получают техногенные формы рельефа: карьеры, каналы, отвалы, котловины и т.п.

О масштабе антропогенных преобразований поверхности территории Беларуси можно судить по таким данным: не менее 200 км<sup>2</sup> занимают карьеры, причем их глубина нередко составляет 10-30, а иногда 50 м и более, протяженность достигает 1,5 км; площадь отвалов в пределах 6-8 км<sup>2</sup>, высота 80-150 м; искусственно террасированная поверхность населенных пунктов охватывает около 5 тыс. км<sup>2</sup>; площадь дорог превышает 1000 км<sup>2</sup>, на многие тысячи километров протянулись судоходные и осушительные каналы.

Под влиянием техногенеза почти на третьей части территории Беларуси получила развитие плоскостная эрозия: происходит обмеление рек, заиление озер, развиваются ов-

раги, усиливаются эоловые процессы. В районах городских водозаборов и горных выработок формируются просадки грунтов [15].

**Климат.** Климат Беларуси умеренно теплый, переходный от морского к континентальному (Шкляр, 1973). Господство атлантических воздушных масс обуславливает высокую относительную влажность воздуха, которая в зимний период достигает 85-90%, понижаясь на востоке и в районе возвышенностей до 58-63%, на юге и в центре республики - до 54-55%.

Осадки на территории Беларуси зависят главным образом от характера циклонической деятельности. Ввиду того, что последняя постепенно ослабевает в направлении с северо-запада на юго-восток, количество осадков также убывает в этом направлении, составляя соответственно 600-650 мм и 550 мм в год. На территории низменностей выпадает обычно менее 600 мм, на возвышенностях - более 650 мм. Во влажные годы количество осадков может превышать 1000 мм. Максимум годовых осадков приходится на июль- август (исключая юго-запад, где максимум приходится на июнь), минимум на январь- февраль. Число дней с осадками в Беларуси составляет от 180-194 (в районе возвышенностей и на севере) до 160-180 (к югу и востоку). Наиболее часты осадки зимой и осенью (15-20 дней в месяц), наименее (12-14) - в мае.

Среднегодовая температура воздуха на территории Беларуси изменяется от +8 С в Брестской области до +5 С - в Витебской. Максимальная годовая температура воздуха приходится на июль: от +18 С на севере до +20 С на юге республики, минимальная - на январь: -8 С на севере, -4 С на юге. Абсолютные амплитуды температуры воздуха составляют 70-76 С.

Осень в Беларуси наступает во второй декаде сентября (на северо-востоке) - первых числах октября (на юго-западе), когда среднесуточная температура воздуха устанавливается ниже 10 С. Конец осени, соответствующий появлению устойчивой среднесуточной температуры 0 С, приходится в северо-восточной Беларуси на середину ноября, на юго-западе - конец ноября. В наиболее холодные годы в ноябре могут ежедневно наблюдаться морозы. В связи с усиливающейся циклонической деятельностью над Атлантикой, по сравнению с летним сезоном, осенью значительно увеличивается облачность и чаще выпадают дожди, хотя количество атмосферных осадков, наоборот, уменьшается. Осенью часты туманы.

Зима в Беларуси наступает в ноябре: на юге - в конце месяца, на севере - в начале. Продолжительность зимы, т.е. периода с температурой воздуха ниже 0 С, изменяется от 105 дней на юго-западе до 145 дней на северо-востоке. Устойчивый снежный покров устанавливается на большей части территории республики в течение декабря. Средняя температура января от -4 С на юго-западе (Брестская область) до -8,5 С - на северо-востоке (Витебская область). В результате глубокого проникновения в пределы Беларуси морских воздушных масс зимой часто бывают оттепели: в среднем один из трех дней декабря и февраля.

Весна в Беларуси обычно наступает в апреле. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 С на юго-западе происходит в середине марта. За вторую половину марта-первую половину апреля полностью сходит снег. В конце апреля - начале мая наблюдаются последние заморозки, среднесуточная температура воздуха становится выше 10 С - начинается лето.

Лето в Беларуси - самый продолжительный период года: начинается в первой декаде мая, заканчивается в третьей декаде сентября. Лету свойственны малая облачность и наибольшее число ясных дней. Максимум пасмурных дней наблюдается в районах Минской возвышенности, минимум - в южной части Полесья. Средняя температура июля на юго-востоке составляет более 19 С, на севере - 18 С. На этот сезон года приходится максимальное количество осадков (в среднем 40% годовой суммы) [15].

***Почвы и растительность.*** Почвенный покров Беларуси формируется под влиянием трех основных факторов: климата, рельефа и состава материнских пород. Известны 4 основных генетических типа почв. Наиболее распространены дерново-подзолистые (более 70%) почвы, которые характеризуются в общем высокой кислотностью, слабой насыщенностью основаниями в верхних горизонтах почвенного профиля, невысоким содержанием гумуса (3-3,5%). По механическому составу и степени оподзоленности дерново-подзолистые почвы неоднородны. Около 8% территории Беларуси занимают суглинистые и глинистые разности, развитые на моренных возвышенностях, иногда на равнинах, сложенных моренными суглинками и глинами. Значительный процент глинистой фракции моренных суглинков определяет их высокую влагоемкость и небольшую водопроницаемость, отчего эти почвы в пониженных участках рельефа заболачиваются. Около 14% площади приходится на средне- и сильнооподзоленные почвы на лессах и лессовидных суглинках. Они формируются на водораздельных равнинах, сложенных мореной, которая сверху прикрыта пластом лессовидных пород и лессом, часто при глубоком залегании грунтовых вод. Почвы имеют кислую реакцию, низкую степень насыщенности основаниями, небольшое содержание гумуса (до 3%). В силу повышенного содержания пылеватых частиц эти почвы отличаются небольшой связностью и легкой размываемостью атмосферными осадками, что приводит к развитию процессов эрозии на крутых склонах. Около 20% территории республики занимают супесчаные среднеоподзоленные дерновые почвы, расположенные на низменных и возвышенных равнинах. Почвы формируются на моренных отложениях, неоднородны по гранулометрическому составу, что связано с неоднородностью материала почвообразующих пород. Небольшая влагоемкость супесей и хорошая водопроницаемость подстилающих их песков способствуют просачиванию значительной части атмосферных осадков за пределы почвенного профиля.

Песчаные слабо- и среднеподзоленные почвы занимают около 17% площади республики. Они развиты на моренах, водно-ледниковых, озернотледниковых и древнеаллювиальных песках. Почвы рыхлые, что обуславливает их большую водопроницаемость и незначительную влагоемкость. Песчаные почвы имеют кислую реакцию среды, очень бедны гумусом (до 1%).

Около четверти территории Беларуси занимают торфяно-болотные почвы, которые формируются в условиях болотного процесса при избыточном увлажнении грунтовыми и атмосферными водами. Основная часть торфяно-болотных почв сосредоточена в Брестской, Минской и Гомельской областях. На севере республики преобладают торфяники верхового типа, в центральных и южных районах - низинного. Заболоченность отдельных районов Полесья достигает 40%.

Наименьшую площадь в республике (0,5%) занимают дерново-карбонатные почвы, распространенные небольшими островами среди дерново-подзолистых почв преимущественно в Брестской и Минской областях. Почвы приурочены к положительным формам рельефа и формируются на выходах пресноводных мергелей, из известковых туфов и других рыхлых, обогащенных известняком породах, имеют промывной тип водного режима. Почвы характеризуются зернистой структурой, нейтральной или близкой к ней реакцией, насыщены основаниями, содержат достаточно много гумуса (4-6%).

Для ландшафтов Беларуси характерна высокая залесенность. Леса занимают 7,2 млн га площади республики (около 35%). В естественном состоянии произрастают 28 древесных и более 70 кустарниковых видов. Преобладающие породы (%): сосна (56), береза (16), ольха (11), ель (9), дуб (5), осина (4). Из кустарников наиболее распространены багульник, вересок, жимолость, ивы, калина, лещина, можжевельник, шиповник, черемуха. Крупнейшие лесные массивы расположены в центральной части республики, от Мозыря до Полоцка.

Около 25% территории заболочено. Культурная растительность в республике занимает около третьей части всей территории.

Наибольшая степень распаханности свойственна средней части Беларуси, из культивируемых культур преобладают зерновые [15].

**Геологическое строение.** Территория Беларуси характеризуется сложным строением, в вертикальном геологическом разрезе принято выделять два структурных этажа: кристаллический фундамент и осадочный чехол [15,22].

Кристаллический фундамент архей-нижнепротерозойского возраста залегает на различных глубинах, от нескольких до 5 – 6 тыс. м. Представлен фундамент метаморфическими породами (гнейсами, амфиболитами, кристаллическими сланцами).

В северо-западной и центральной частях республики расположена крупная тектоническая структура – Белорусский кристаллический массив (Белорусская антеклиза). Осадочный чехол массива сложен верхнепротерозойскими, палеозойскими, мезозойскими, и кайнозойскими отложениями. Мощность осадочного покрова в пределах Белорусской антеклизы изменяется от 80 до 620 м.

Выделяется ряд других, более мелких положительных структур: на юге – северная часть Украинского кристаллического щита; на юго-востоке – Воронежская антеклиза с глубинами залегания фундамента, перекрытого девонскими и более молодыми осадочными отложениями, 300 – 500 м; Микашевичско-Житковичский выступ, расположенный в восточной приподнятой части Полесской седловины. В фундаменте Полесской седловины прослеживаются глубинные разломы северо-восточного простирания. Осадочный чехол сложен образованиями рифейского (пинская свита) и вендского комплексов верхнего протерозоя. Докембрийская толща перекрывается отложениями мела, палеогена, неогена и антропогена.

Припятский прогиб – западная часть Припятско-Днепровского-Донецкого палеозойского авлакогена – является крупным отрицательным структурно-тектоническим элементом Русской плиты. На западе прогиба фундамент перекрыт верхнепротерозойскими отложениями, на остальной территории – мощной толщей девонского возраста. Выше по разрезу принимают участие отложения карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена, неогена и антропогена [15,22].

На юго-западе республики расположена Брестская впадина, которая на севере граничит с Белорусской антеклизой, на востоке с Полесской седловиной и в южной части ограничена Лкувско-Ратновским выступом. Кристаллический фундамент впадины погружен до глубин 1,6 – 1,9 км и разбит разломами северо-восточного простирания на отдельные блоки с амплитудами смещения до 100 – 300 м. Фундамент представлен преимущественно отложениями верхнего протерозоя, кембрия, ордовика, силура, юры, мела, палеогена, неогена, и антропогена.

Значительную по площади территорию на северо-востоке Беларуси занимает Оршанская впадина. Глубина залегания фундамента в пределах этой структуры изменяется от 0,7 – 0,8 км до 1,5 – 1,6 км. На кристаллическом фундаменте залегают рифейские и вендские образования верхнего протерозоя мощностью до 1000 и более метров, которые перекрываются отложениями девона и антропогена, а в южной части впадины, кроме того, юрскими, меловыми и палеогеновыми [15,22].

В строении осадочного чехла Белоруссии принимают участие отложения верхнего протерозоя (рифей и венд), палеозоя (кембрий, ордовик, силур, девон, карбон, пермь), мезозоя (триас, юра, мел), кайнозоя (палеоген, неоген и антропоген) (рис. 1.1).

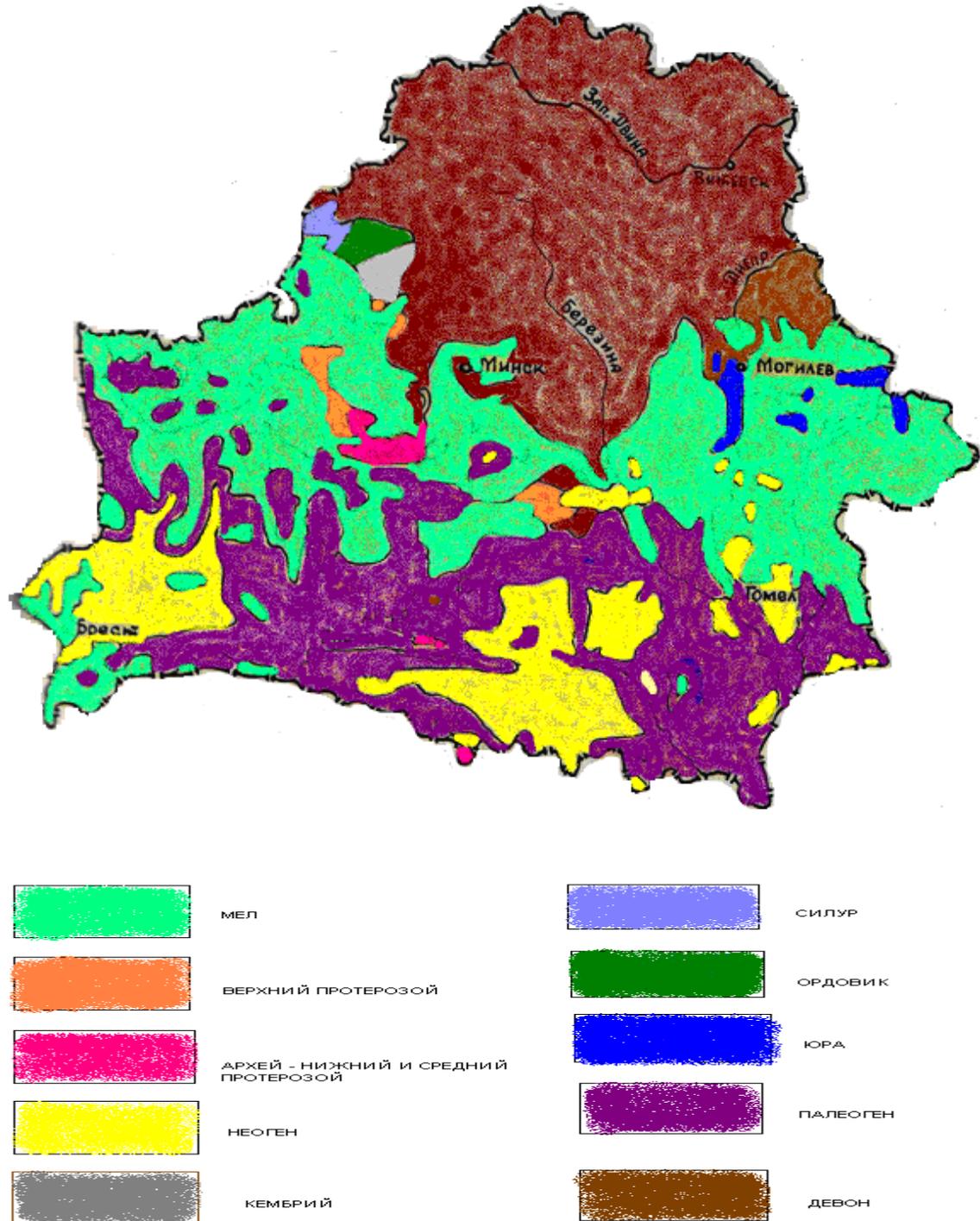


Рис. 1.1 Геологическая карта доантропогенных отложений Беларуси.

Верхнепротерозойские отложения почти повсеместно распространены на территории республики. В составе осадочной толщи докембрийских образований выделены верхнерифейский и вендский комплексы. Толща рифея сложена преимущественно красноцветными кварцевыми, полевошпатово-кварцевыми и аркозовыми песчаниками, глинисто-

алевроитовыми породами общей мощностью 1200 – 1400 м. Рифейские образования перекрываются вендским комплексом отложений, которые представлены красноцветными песчаниками, алевроито-глинистыми породами, а в верхней части глинами, алевролитами, песчаниками с прослоями алевролитов. Мощность вендских отложений достигает 1,5 км.

Кембрийские отложения имеют ограниченное распространение на территории Беларуси и развиты только в юго-западных и северо-западных районах.

В ордовикский период большая часть территории республики была сушей. Отложения ордовика присутствуют лишь на ограниченных площадях в северной и юго-западной зонах. Мощность осадочной толщи ордовикского времени достигает 100 – 200 м.

Отложения силурийской системы на территории республики присутствуют только на северо-западе и в пределах Брестской впадины. Основание силурийского разреза представлено мергельно-глинистой толщей. Отложения верхнего силура представлены мергелями и глинами с прослоями и линзами известняков.

Девонская система представлена образованиями всех отделов и ярусов за исключением зигенского и эмского.

В раннем девоне была образована глинисто-карбонатная толща юго-западного структурно-фациального района. Среднедевонские отложения (витебский, пярнуский, наровский и старооскольский горизонты), представлены разномерными песчаниками, песками, доломитами. Мощность среднедевонских отложений 70 – 300 м. Образования верхнего отдела девона широко развиты на северо-востоке республики и в пределах Припятского прогиба, где они достигают наибольшей мощности – свыше 3500 м. Толща франских отложений представлена песчаниками, алевролитами, глинами, а в верхней части разреза - известняками, доломитами и мергелями. В разрезе фаменских образований задонский, елецкий и петриковский горизонты сложены преимущественно доломитами, известняками, мергелями, а лебедянский, оресский, стрелинский горизонты – каменной солью с прослоями глин, мергелей, песчаников и сульфато-карбонатных пород. Верхняя часть разреза девонских отложений завершается полесским горизонтом, представленной глинисто-мергельной толщей, переслаивающейся песчаниками, известняками, доломитами и горючими сланцами.

Каменноугольная система представлена нижним (туйнейским, визейский и серпуховский ярусы) и средним (башкирский и московский ярусы) отделами. Толща отложений каменноугольного периода сложена песчано-глинистыми и мергельными породами, переслаивающимися с известняками, доломитами и бурыми углями. Мощность отложений карбона изменяется от нескольких метров до 1000 и более метров [15,22].

Пермские отложения распространены в пределах Припятского прогиба, Брестской впадины и южного склона Балтийской синеклизы. В пермское время в Припятском проги-

бе накапливались глинистые и доломитово-сульфатные осадки ассельского яруса мощностью около 50 м, а затем красно-бурые глины дудичской свиты татарского яруса мощностью до 170 м. Отложения Перми юго-западного структурно-фациального района образовывались в конце нижнего – начале верхнего отделов системы. Эти образования представлены на южном склоне Балтийской синеклизы песками и слобосцементированными песчаниками, а в верхней части разреза – известняками и доломитами с мергельно-глинистыми прослоями. В пределах Подляско-Бресткой впадины пермь сложена гравелитами, известняками и доломитами каменецкой свиты.

Отложения триаса приурочены в основном к Припятскому прогибу и известны на ограниченной площади территории Брестской впадины. В структуре осадочного чехла Припятской впадины триас представлен нижним (выступовичская, корневская и мозырская свиты), средним (калинковичская и наровлянская свиты) и верхним (валавская свита) отделами. Разрез нижнего триаса сложен песками и песчаниками, мергельно-глинистыми отложениями и глинами, мощность которых достигает 450 м. Выше залегает толща пестроцветных глин, в различной степени известковистых с прослоями алевролитов, песчаников и гравелитов.

Отложения юры представлены средним и верхним отделами. Наиболее полный разрез юрских отложений вскрыт в пределах Припятского прогиба, где выявлены гравелиты, пески, глины и алевролиты байосского и батского ярусов среднего отдела. Отложения верхней юры развиты значительно шире и известны на юго-востоке и юго-западе республики. Толща келловейского яруса песками, известковистыми песчаниками, алевролитами, известняками и мергелями. Выше по разрезу залегают известняки и мергели оксфордского яруса, которые в Припятском прогибе переходят в известковистые глины кимериджа.

Меловые отложения широко развиты в южной части Беларуси и представлены всеми ярусами за исключением берриасского и датского. Нижнемеловое время (валанжин, гетерив, баррем и частично апт) накопление отложений происходило только на юго-востоке республики, где были образованы песчано-алевролитовые и глинистые породы. Затем в апте и Альбе накапливаются континентальные песчано-глинистые отложения. Максимальная мощность нижнемеловых образований достигает 76 м [15,22].

Отложения верхнего мела представлены двумя литологическими толщами: нижней – песчаной, соответствующей нижнему подъярису сеномата, и верхней – мергельно-меловой. Мощность верхнемеловых отложений на юго-востоке республики достигает 293 м.

Отложения кайнозойской группы распространены повсеместно и представлены всеми тремя системами.

Палеогеновые отложения распространены на юге республики в пределах Припятского прогиба, Полесской седловины, Брестской впадины и южных склонов Белорусского массива. Толща палеогена сложена опоковидными глинами, песками глауконитово-кварцевыми разнозернистыми, преимущественно мелкозернистыми. Завершается разрез континентальными отложениями страцубской и крупейской свит олигоцена, представленных глинами, песками и каолинитовыми песчаниками. Эти отложения встречены только в юго-восточной части республики на территориях Припятского прогиба и Лоевско-Брагинской седловины.

В неогене на территории республики существовали континентальные условия, обусловившие формирование толщи пород аллювиального и озерного происхождения (бриневский и антопольский региональные горизонты миоцена). Для образований неогенового возраста характерен пестрый литологический состав (от песчано-углистых до углистых отложений), невыдержанность по мощности (от 15 – 35 до 60 м) и простирацию.

Четвертичные отложения развиты на территории республики повсеместно. Для антропогенного периода характерно общее похолодание климата и многократные материковые оледенения. Ледниковые эпохи периодически сменялись межледниковыми. В соответствии с современными представлениями о стратиграфическом расчленении четвертичных отложений, на территории республики выделяются Брестский, Наревский, Беловежский и Березинский горизонты нижнего плейстоцена, Александрийский, Днепровский, Шкловский и Сожский горизонты среднего плейстоцена, Муравинский и Позерский горизонты верхнего плейстоцена. Разрез четвертичных отложений завершаются осадочными образованиями голоцена [15,22].

Отложения этого периода представлены осадочными породами различных генетических типов и фракций ледниковой и межледниковой формации. Широкое развитие получили мощные толщи ледниковых и водоледниковых отложений (моренные супеси и суглинки, лимногляциальные алевриты, суглинки и глины). Меньшее значение в разрезе имеют эоловые, пролювиальные, озерные, болотные образования, а элювиальные и делювиальные осадки играют подчиненную роль.

В целом, отложения антропогенной системы характеризуются сложностью строения и условий залегания, отличаются значительной пестротой гранулометрического, петрографо-минералогического и вещественного (химического) состава.

## 1.2. Водоносные горизонты и комплексы как источник водоснабжения

Источником подземных вод являются различные по распространению, мощности, литологическому составу, водообильности и возрасту водоносные горизонты и комплексы, от четвертичных до верхнепротерозойских.

Наиболее широко эксплуатируется водоносный комплекс антропогенных отложений. На эту толщу приходится около 65 % ресурсов пресных вод и до 45 % общих эксплуатационных запасов подземных вод Беларуси.

Водоносный комплекс четвертичных отложений почти повсеместно распространен на территории республики, во многих районах является основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения (рис. 1.2).

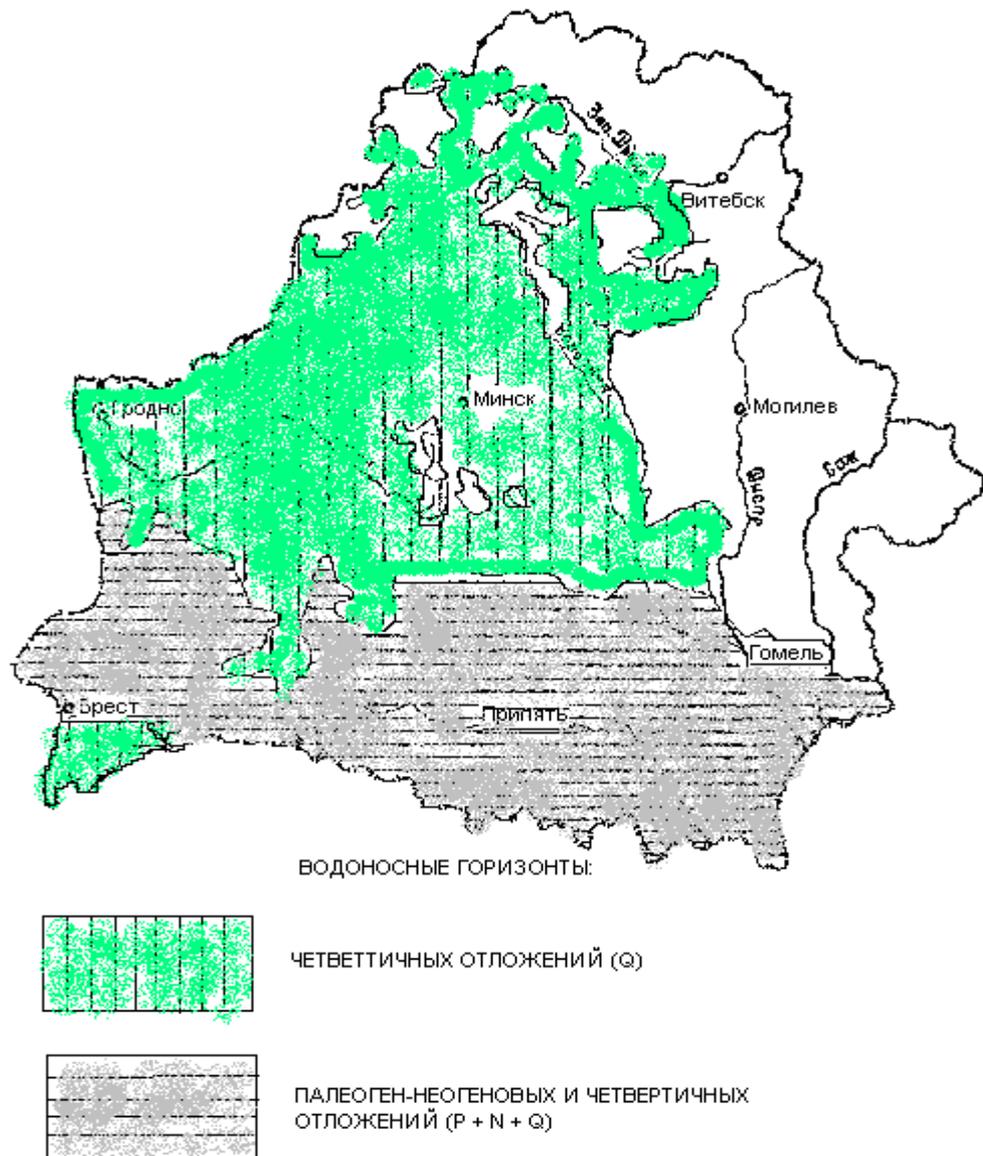


Рис. 1.2 Схема распространения водоносных комплексов кайнозойского возраста.

Относительно неглубокое залегание подземных вод и их высокое качество позволяют широко использовать водные ресурсы этих отложений в водоснабжении. В целом по респуб-

лике, глубина залегания водоносных пород четвертичных отложений изменяется от нескольких до 100 – 150 и более метров.

Комплекс представлен горизонтами современных аллювиальных, озерно-аллювиальных и болотных отложений, а также водоносными толщами моренных и межморенных образований. Наиболее интенсивно используются горизонты, залегающие между днепровской и сожской моренами, березинско-днепровские межморенные отложения, воды спорадического распространения, содержащиеся в моренных и краевых образованиях московского оледенения. Подземные воды этих горизонтов эксплуатируются скважинами, число которых достигает 85 % от их общего количества, пробуренных с целью освоения антропогенного водоносного комплекса.

Водовмещающие породы представлены песками различного гранулометрического состава, нередко с включением гравия, гальки и валунов. Разделяющие отдельные водоносные горизонты отложения представлены супесями и суглинками мощностью от нескольких до 20 – 30 м и более. Во многих местах водоупорные породы четвертичного комплекса частично или полностью размыты или опесчанены, что, как правило, обеспечивает хорошую гидравлическую связь между разновозрастными горизонтами.

Четвертичные отложения отличаются невыдержанностью по мощности и простиранию, пестротой литологического состава. Эти факторы обуславливают значительные изменения гидрогеологических характеристик отдельных водоносных горизонтов и всего комплекса в целом и пределах ограниченной территории. Удельные дебиты скважин, пробуренных на четвертичные отложения, изменяются от сотых долей до 5 – 10 л/с.

Подземные воды комплекса (за исключением первых от поверхности водоносных горизонтов), как правило, характеризуются хорошим качеством, отвечающим требованиям различных потребителей. Воды обычно гидрокарбонатно-кальциевого состава с общей минерализацией 0,1 – 0,4 г/л.

Водоносный комплекс палеоген-неогеновых отложений широко распространен на юге республики в пределах Припятского, Подляско-Брестского и частично Прибалтийского артезианских бассейнов (рис. 1.1) и связан с полтавской серией неогена, харьковской, киевской, и бучаковской свитами палеогена. Водовмещающими являются разнородные пески, преимущественно мелкозернистые, местами глинистые с прослоями мергелей, алевролитов и слобосцементированных песчаников. Мощность водоносной толщи 3 – 50 м.

Водообильность комплекса характеризуется удельными дебитами скважин от 0,001 до 3 л/с, а его фильтрационные свойства определяются коэффициентом фильтрации - от 0,5 до 10 м/сутки.

Свыше 7% от общего числа водозаборных скважин, работающих в республике, пробурено с целью эксплуатации подземных вод палеоген-неогеновых отложений. обладая значительными запасами пресных подземных вод, этот водоносный комплекс является одним из основных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения для районов и многих городов юга республики.

Воды комплекса пресные с минерализацией от 0,1 до 1 г/л относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу. В отдельных случаях скважины вскрывают солоноватые воды гидрокарбонатно-хлоридного и сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатно-кальциевого типов, что, вероятно, объясняется влиянием подземных вод глубоких горизонтов палеозойских отложений, частично разгружающихся по зонам тектонических нарушений в вышележащие горизонты.

Воды меловых отложений связаны с разновозрастными и различными по литологическому составу водоносными горизонтами и комплексами (рис. 1.3). В Припятском артезианском бассейне развиты верхнесеноманские – маастригские водоносные горизонты, сложенные трещиноватым мелом, мергелями, глауконитовыми песками или песчаниками. Мергельно-меловая толща верхнего отдела системы содержит напорные воды. Уровни воды в скважинах устанавливаются на глубинах до 25 м, в поймах рек иногда отмечаются случаи самоизлива. Удельные дебиты скважин, эксплуатирующие мергельно-меловой комплекс, достигают 7 – 22,2 л/с. Водоносный комплекс альбских и сеноманских отложений сложен преимущественно тонко- и мелкозернистыми песками, реже средне- и крупнозернистыми; при эксплуатации подземных вод достигнуты удельные дебиты скважин до 6,9 л/с.

В южных районах Оршанского артезианского бассейна активно используются воды, заключенные в альб-сеноманских песках и турон-сеноманских мергельно-меловых образованиях, а на западе республики – воды мергельно-меловой толщи верхнего отдела системы, а также альбские, сеноманские и отложения нижнего и верхнего мела.

В связи с отсутствием в толще меловых отложений выдержанных региональных водоупоров все связанные с ним горизонты можно рассматривать как гидравлически связанные. При эксплуатации маломощного (до 5 – 10 м) альб-сеноманского водоносного комплекса отмечается перетекание подземных вод из вышележащих отложений. В целом по республике, использование этого комплекса обеспечивает более 70 % водоотбора от общего количества вод, отбираемых из меловых отложений [15,22].

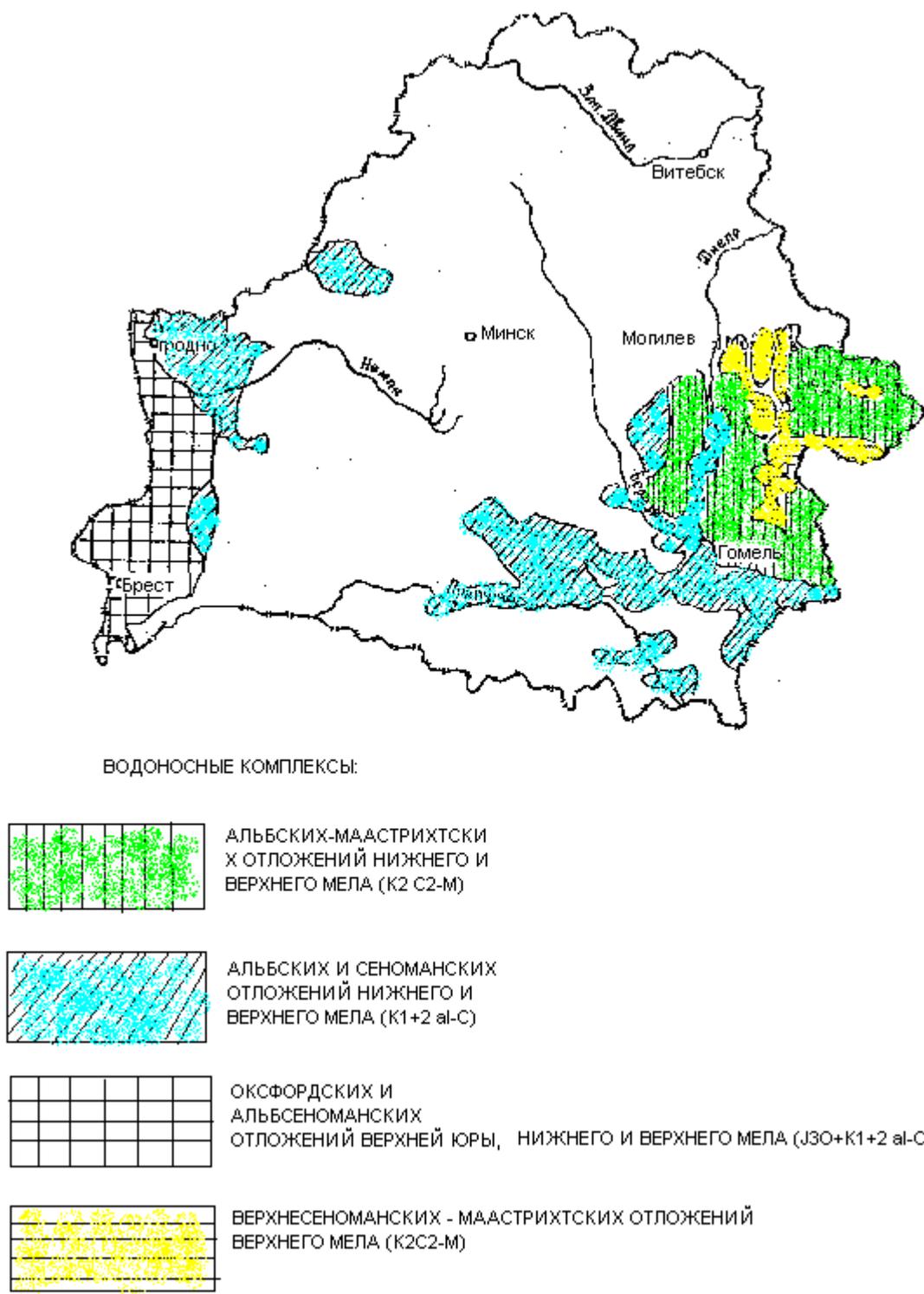


Рис 1.3 Схема распространения основных водоносных комплексов мезозойского возраста.

Водные ресурсы меловой толщи используются для централизованного водоснабжения крупных водопотребителей, таких как Гомель, Гродно, Брест, а также ряд районный центров. Широкому использованию мелового водоносного комплекса в народном хозяйстве способствует хорошее качество содержащихся в нем вод, которые относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу и имеют минерализацию до 1 г/л. Лишь в отдельных

местах, связанных с зонами региональных глубинных разломов, отмечено увеличение минерализации до 6 – 8 г/л.

Верхне- и среднеюрский водоносный комплекс связан с оксфордскими и баткеллавейскими отложениями, развитыми в западной и восточной частях республики. водовмещающие породы представлены трещиноватыми, кавернозными известняками и мергелями, реже песчаниками на карбонатном цементе (оксфордский горизонт) и прослоями тонко- и мелкозернистых песков, трещиноватых известняков, мергелей бат-келловея. В целом, комплекс обладает большим запасом подземных вод (преимущественно оксфордский горизонт), однако, значительная глубина залегания отложений существенно снижает возможности использования водных ресурсов. Водообильность оксфордских отложений верхней юры характеризуется удельными дебитами скважин от 0,2 до 2,7 л/с.

Воды комплекса пресные, гидрокарбонатно-кальциевого типа с минерализацией, не превышающей 500 мг/л.

Водоносный комплекс триасовых отложений распространен на ограниченных площадях в западной части Подляско-Брестского бассейна и на юго-востоке республики. Комплекс сложен переслаивающимися глинистыми породами и песками, песчаниками и мергелями. В народном хозяйстве водоносный комплекс не используется из-за больших глубин залегания, повышенной минерализации воды и низкой водообильности.

Пресные воды палеозойских горизонтов и комплексов распространены преимущественно в отложениях девона и в меньшей степени силура, ордовика и кембрия (рис. 1.4).

Водоносные комплексы пермских и каменноугольных отложений развиты в пределах Припятской и Брестской впадин, залегают на больших глубинах и содержат минерализованные воды. В силу указанных причин эти комплексы не используются для водоснабжения.

Водоносный комплекс девонских отложений является основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения на северо-востоке Беларуси. Наиболее водообильными в девонской толще являются франско-фаменские отложения, представлены известняками и доломитами, в различной степени трещиноватыми и кавернозными, с незначительными по мощности прослоями песков и песчаников. Карбонатные отложения этого комплекса перекрываются песчано-глинистыми антропогенными образованиями, а в подошве залегают глины и алевролиты ланского горизонта. Неоднородная трещиноватость водовмещающих пород комплекса определяет различие фильтрационных свойств отложений. Зоны повышенной проницаемости, как правило, развиты на участках, примыкающих к долинам рек. На участках разведанных водозаборов проводимость водовмещающих пород изменяется от 430 до 1000 м<sup>2</sup>/сут [15,22].

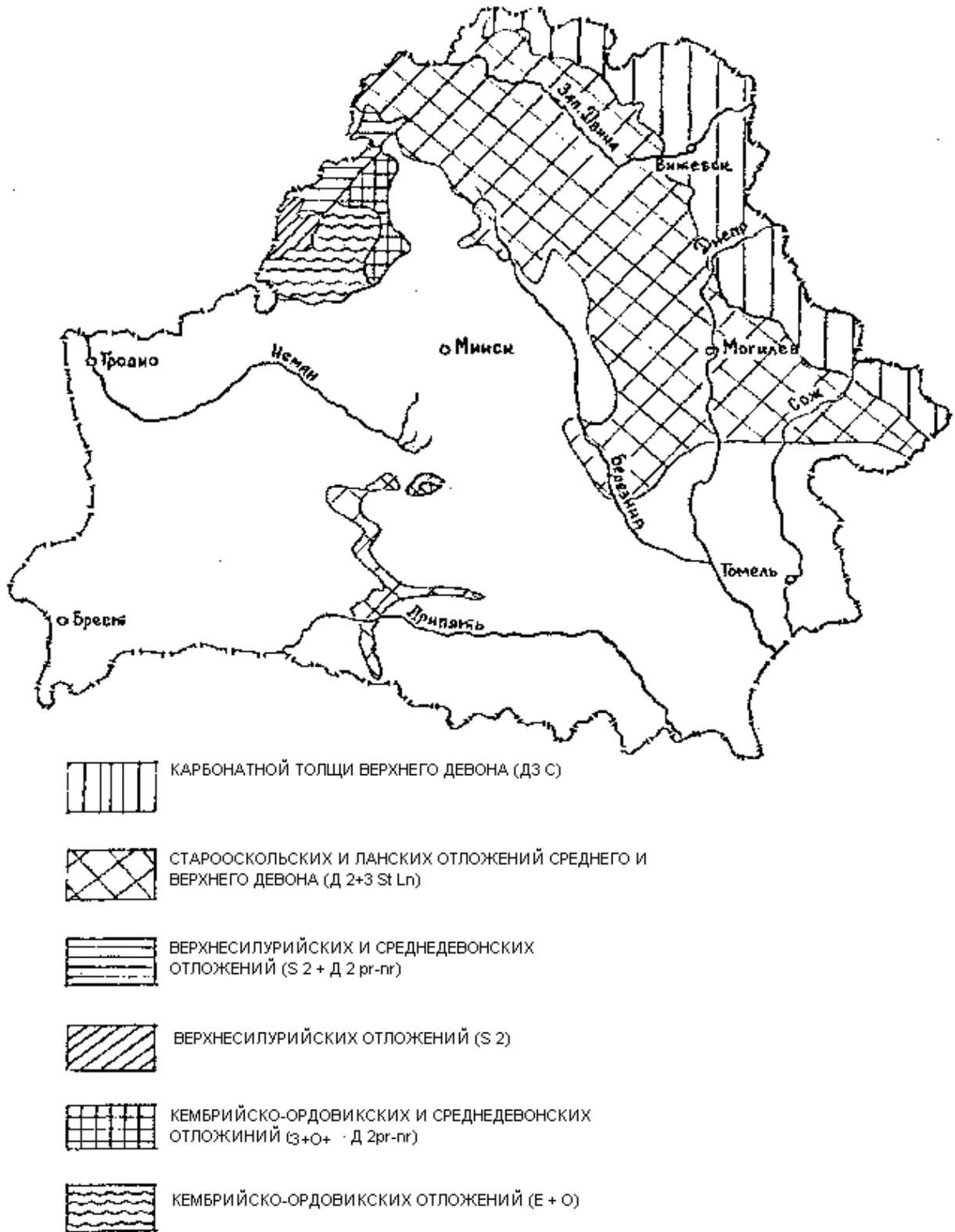


Рис 1.4 Схема распространения основных водоносных комплексов палеозойского возраста.

Комплекс карбонатных отложений верхнего девона обладает высокой водообильностью. Удельные дебиты скважин, его эксплуатирующих, составляют 0,1 – 6,3 л/с, дос-

тигая 33 л/с в местах высокой кавернозности отложений. Водоносный комплекс франко-фаменских карбонатных отложений полностью залегают в зоне активного водообмена и содержит пресные воды с минерализацией 0,13 – 0,62 г/л, которые относятся к гидрокарбонатно-кальциевому и относятся к гидрокарбонатно-кальциево-магниевому типам. Подземные воды комплекса служат основой централизованного водоснабжения г. Витебска, других городов и крупных населенных пунктов, а также используются для удовлетворения нужд сельского хозяйства [15,22].

Широким распространением на севере, северо-востоке и востоке республики используется водоносный комплекс старооскольских и ланских отложений, водовмещающие породы которого представлены преимущественно песками и песчаниками, переслаиваемыми с глинисто-алевролитовыми отложениями. Мощность песчаных частей разреза изменяется от 15 до 35 м, достигая в отдельных случаях 90 м и более. Комплекс представлен гидравлически связанными водоносными горизонтами и слоями. Обычно воды напорные, в долинах рек сомоизливающиеся. Фильтрационные свойства комплекса характеризуются удельными дебитами скважин до 6,5 л/с и коэффициентом фильтрации от 0,1 до 24 м/сут. Воды пресные, с минерализацией 0,16 – 0,54 г/л, гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. В районе г. Полоцка отмечено изменение химического состава вод и локальное повышение минерализации до 0,7 – 1 г/л и более.

Водоносный комплекс пярнуско-наровских отложений сложен трещиноватыми карбонатными породами с прослоями глин, песков и песчаников. Воды комплекса напорные, в пониженных участках рельефа (долина р. Западная Двина) сомоизливающиеся. водообильность отложений невысокая, величина коэффициента фильтрации не превышает 5 м/сут. Химический состав вод сложный – от пресный гидрокарбонатно-кальциевых в пределах зоны активного водообмена Прибалтийского и Оршанского артезианских бассейнов, до хлоридно-натриевых рассолов с минерализацией до 65 г/л в погруженных участках Оршанской впадины.

Из девонских водоносных отложений отбирается около 20 % подземных вод, потребляемых народным хозяйством республики.

Водоносный комплекс ордовикских и силурийских отложений распространен в пределах Подляско-Брестского и Прибалтийского бассейнов. Водовмещающие породы представлены преимущественно трещиноватыми и кавернозными известняками, доломитизированными известняками, доломитами и мергелями с маломощными прослоями песков и песчаников. Значительная минерализация воды (до 5 г/л) и глубина залегания комплекса в Подляско-Брестском бассейне ограничивают возможности его использования.

В северной части Гродненской области на территориях Островецкого, Ошмянского, Сморгонского районов, водоносный комплекс ордовикских и силурийских отложений является одним из основных источников водоснабжения. Воды гидрокарбонатно-кальциевые или гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. Минерализация 0,2 – 0,5 г/л. Удельные дебиты скважин изменяются от 0,07 до 1,7 л/с [15,22].

Кембрийский водоносный комплекс развит на западе Беларуси. Водовмещающими породами являются пески и песчаники с прослоями алевролитов и глин. Комплекс отличается достаточно высокой, но неравномерной водообильностью. Глубина залегания кровли колеблется 80 – 270 м, удельные дебиты скважин, пробуренных на кембрийские отложения составляют 0,05 – 5,5 л/с. Воды пресные, гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. С увеличением глубины залегания комплекса минерализация вод возрастает, а химический состав изменяется до хлоридно-натриевого.

Водоносный комплекс верхнепротерозойских отложений распространен на значительной части территории республики, за исключением районов поднятия кристаллического фундамента, где эти отложения размыты, а также структур с большой глубиной залеганий отложений (Припятская, Брестская, Оршанская впадины), где воды протерозоя высоко минерализованы и не могут быть использованы в хозяйственно-питьевом водоснабжении. Комплекс сложен песчаниками с прослоями аргиллитов, алевролитов, песков и глин. Комплекс широко развит в зонах активного и замедленного водообмена, в связи с чем верхнепротерозойские водоносные отложения имеют важное значение для водоснабжения в краевых частях артезианских бассейнов. Отсутствие выдержанных региональных водоупоров между верхнепротерозойскими вышележащими отложениями обуславливает наличие гидравлической связи между ними, что в ряде случаев позволяет рассматривать толщу верхнепротерозойских, девонских и меловых образований как единый водоносный комплекс (рис. 1.5).

Верхнепротерозойские отложения неоднородны по водообильности: удельные дебиты скважин изменяются от 0,1 до 30 л/с.

Эксплуатационные ресурсы комплекса активно используются в народном хозяйстве, составляя до 8 % общей величины эксплуатационных запасов пресных подземных вод республики.

В целом для Беларуси характерна хорошая обеспеченность подземными водами, которые формируются главным образом путем инфильтрации атмосферных осадков. затруднения в водоснабжении за счет подземных источников возможны лишь в районах интенсивного водоотбора, прежде всего вблизи крупных городов [15,22].

Пресные подземные воды развиты в зоне активного водообмена до глубины 300 – 400 метров и несколько глубже. Качество подземных вод всех горизонтов, как правило, соответствует требованиям СанПиН 10124 РБ 99 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Исключение составляют свойственные им повышенные содержания железа и недостаточное количество фтора.

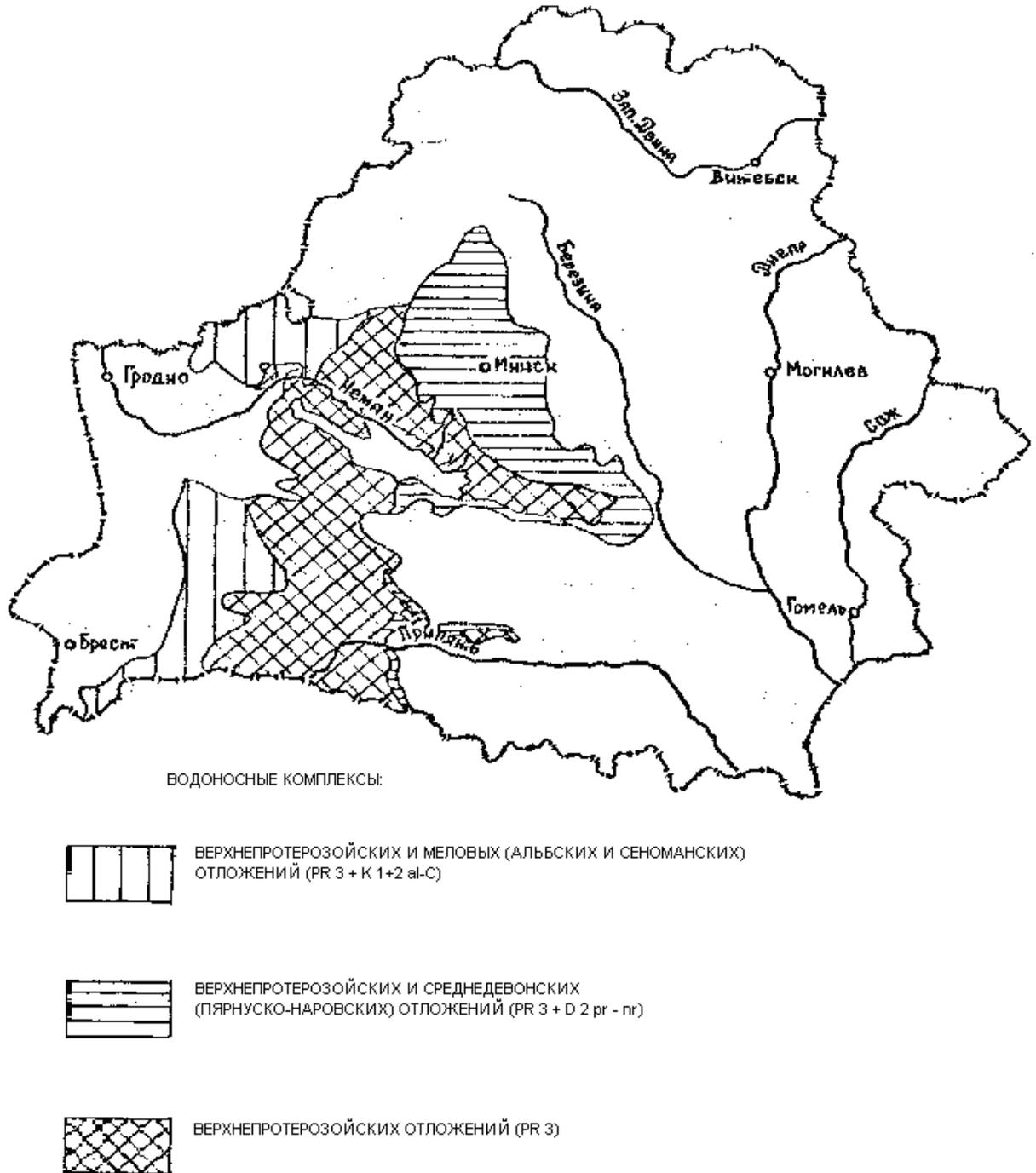


Рис. 1.5 Схема распространения основных водоносных комплексов протерозойского возраста.

### 1.3. Анализ систем водоснабжения из подземных источников в Беларуси

**Общая характеристика.** Население Беларуси составляет 10,1 млн. человек, из которых 70 % - городское население, проживающее в 102 городах и 110 поселках городского типа, и 30% - сельское, - в 24297 сельских населенных пунктах.

В Республике имеется 13687 источников централизованного питьевого водоснабжения, из них 13863 - подземные и 4 поверхностные, а также 519673 источника нецентрализованного водоснабжения. Более 77% населения пользуются водой централизованных и около 22% - нецентрализованных источников водоснабжения [11].

Системы централизованного водоснабжения 100 городов, 78 поселков городского типа, 137 сельских населенных пунктов обслуживаются коммунальными предприятиями, а 20 городов и 28 поселков городского типа — предприятиями промышленности и железной дороги.

Основным источником централизованного водоснабжения населения Беларуси являются подземные воды, лишь в Минске, Гомеле, Гродно и Полоцке для питьевого водоснабжения частично используется вода из поверхностных источников.

Системы централизованного питьевого водоснабжения, находящиеся на балансе сельскохозяйственных предприятий, имеются лишь в 4904 сельских населенных пунктах (20% от общего числа).

Водообеспечение около 90% сельского населения (2,8 млн. чел.) базируется на использовании шахтных колодцев, незащищенных от возможного загрязнения грунтовых вод.

До настоящего времени нет бесперебойного круглосуточного водоснабжения в ряде городов (Борисов, Солигорск, Пинск, Мозырь, Петриков, Рогачев, Калинковичи и др).

Более 50% централизованных систем питьевого водоснабжения не имеют сооружений подготовки воды до питьевых кондиций.

Фактическое состояние сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения и техническая политика в части налаживания забора, подачи и учета потребления при планировании перспективного развития систем питьевого водоснабжения практически не ведется.

Износ основных фондов систем водоснабжения населенных мест превышает 50 процентов и подходит к критическому [11].

**Подземные источники водоснабжения.** Подземные воды характеризуются в основном благоприятными условиями формирования естественных ресурсов, обеспеченных инфильтра-

цией атмосферных осадков. Естественные ресурсы подземных вод оцениваются в 43560 тыс. м<sup>3</sup>/сутки.

По состоянию на 1.01.99 г. на территории республики разведано 243 месторождения и участка подземных вод, по которым утверждены эксплуатационные запасы подземных вод в количестве 6643,72 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На базе утвержденных запасов работает 132 групповых водозабора для водоснабжения 73 городов, промышленных центров и крупных населенных пунктов [11].

Суммарный водоотбор из подземных источников по этим водозаборам в 1999 г. составил 1857,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Общий водоотбор по республике подземных вод в 1998 г. составил 2992,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Степень использования разведанных эксплуатационных запасов в целом по республике составляет 28%.

Значительное количество (109) разведанных месторождений пресных подземных вод с общими эксплуатационными запасами 2067,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (что составляет 31 % от утвержденных по республике запасов) не освоено [11].

**Водозаборные сооружения.** Добыча подземных вод в республике для централизованного водоснабжения городов и поселков, обслуживаемых коммунальным водным хозяйством, осуществляется 2750 водозаборными скважинами.

В сельской местности Беларуси насчитывается порядка 35 тыс. скважин (по данным ГО «Трест Промбурвод»), из которых менее 5% используется для питьевого водоснабжения сельского населения. Большинство скважин не отвечает санитарно-техническим требованиям эксплуатации, около 40% находятся в нерабочем состоянии, специализированных служб по эксплуатации не имеется. Аналогичная ситуация наблюдается в других ведомствах.

Многочисленные скважины, пробуренные для новых индивидуальных застроек (по прогнозам их не менее 1,5 тыс.), не зафиксированы в официальных системах учета.

Производительность действующих водозаборов по отношению к паспортным данным составляет по коммунальным скважинам в среднем, в том числе по областям: Брестская-75%, Витебская - 61%, Гомель-79%, Гродненская - 88%, Минская - 70%, Могилевская - 75%. В сельских и ведомственных водозаборах этот процент составляет порядка -35 процентов. В то же время процент использования утвержденных запасов на водозаборах составляет порядка 50 % [11].

## ГЛАВА 2

### КОЛЬМАТАЖ ФИЛЬТРОВ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА СНИЖЕНИЕ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Термин кольматаж (от французского *colmatage* – закупорка, засорение, естественная цементация) используется для объяснения причин снижения фильтрационных характеристик водовмещающих пород и фильтрующих элементов водозаборных сооружений. В зарубежной литературе термин «кольматация» применяется для обозначения процесса механического осаждения частиц в поровом пространстве, а для обозначения химического осаждения различных минеральных соединений используется термин инкрустация (от англ. *incrustation* - образование корки, кора, плотное отложение) [22].

Эффективность работы фильтров водозаборных скважин значительно зависит от кольматационно – суффозионных процессов на контактах каркас фильтра – порода, гравийная обсыпка – порода и каркас фильтра - гравийная обсыпка. В ходе эксплуатации скважин в большинстве случаев наблюдается снижение их производительности, обусловленное отложением в отверстиях фильтров, порах гравийной обсыпки и водоносных породах осадков физико – химического и биологического происхождения (рис. 2.1). Сущность этих процессов необходимо знать как для разработки методов подбора и расчета фильтров, так и для формулирования рекомендаций по поддержанию стабильного дебита скважин во времени за счет применения комплекса профилактических мер и ремонтных работ.

Прямым следствием кольматажа является увеличение скоростей фильтрации, рост входных гидравлических сопротивлений и снижение притока воды к скважине. Процесс кольматообразования протекает на различных этапах работы водозаборных сооружений, в разнообразных геологических и гидрогеологических условиях, а его интенсивность и характер изменяются во времени и пространстве.

Различают три вида кольматажа: механический, химический и биологический.



а)



б)

Рис. 2.1. Закольматированный а) проволочный и б) щелевой фильтры, извлеченные из водозаборных скважин водозабора «Неманица» г. Борисова.

## 2.1. Механический кольматаж фильтров и прифильтровых зон скважин и меры по его предупреждению.

Механические формы кольматации активно появляются на этапе сооружения водозаборной скважины. При вскрытии или проходке водоносного горизонта вращательным способом с прямой промывкой образуются зоны кольматации пласта, которые связаны с проникновением частиц бурового шлама, глинистого раствора (промывочной жидкости) и фильтрата глинистого раствора. Геометрические размеры зоны кольматации зависят от многих факторов, определяющими среди которых являются: литологический и механический составы водовмещающих пород, параметры промывочного раствора, перепад давлений в стволе скважины и водоносном горизонте. Различные режимы бурения и условия проходки создают кольматаж рыхлых водовмещающих пород на расстоянии до 10 – 15, реже 100 и более мм от стенок скважин, что тем не менее, существенно влияет на изменение фильтрационных характеристик этой зоны, снижая водопроницаемость в десятки и более раз. Отрицательные последствия механического кольматажа, обусловленного проникновением в пласт технологических продуктов бурения (шлам, компоненты промывочного раствора) могут быть в значительной степени сокращены в случае применения прогрессивных способов вскрытия и освоения водоносного горизонта. Механический кольматаж контактной зоны между гравийной обсыпкой и водовмещающей породой, а также на границе фильтрующей поверхности и прилегающей к ней гравийной обсыпки вызывается заклиниванием отверстий, обеспечивающих фильтрацию [6,4].

При отборе воды из рыхлых песчаных отложений необходимо стремиться к созданию естественных фильтров на контакте каркаса фильтра с породой, либо на контакте гравийной обсыпки с породой. Естественные фильтры должны формироваться при непрерывном песковании скважин, так как только при этих условиях наблюдается сортировка пород по диаметрам фракций и отмывка мелкозернистых частиц, снижающих фильтрационные свойства пород в прифильтровой области [6,4].

Пескование, т.е. вымыв и вынос в скважину частиц песка из водоносного пласта, называется механической суффозией. Для возникновения суффозии необходимо выполнения следующих условий: 1) геометрических, определяемых соотношением между частями фильтра и песка, защищаемого от выноса 2) гидромеханических, определяемых градиентами и входными скоростями фильтрации.

Если частицы песка не проникают сквозь поры гравийной обсыпки, т. е. по геометрическим условиям механическая суффозия невозможна, то любые большие градиенты и скорости фильтрации не могут вызвать пескования скважины.

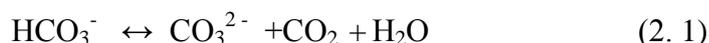
Для избежания процессов механического кольматажа, следует применять прогрессивные способы бурения скважин (обратная промывка), а также для скважин каптирующих воду из песков предусматривать мощный слой гравийной обсыпки фильтра соответствующих гранулометрического состава и толщины [4].

## 2.2. Химический кольматаж фильтров и прифилтровых зон скважин и меры по его предупреждению.

Опыт эксплуатации водозаборных скважин показывает, что их производительность и дренирующая способность существенно снижаются во времени вследствие зарастания фильтров и прифилтровых зон скважин различными химическими соединениями (рис. 2.1). Эти соединения образуются в результате нарушения химического равновесия в пласте, связанного с действием в нем гидродинамического возмущения. Нарушение химического равновесия обуславливается смещением наиболее динамического газового равновесия, выражающегося в гидролизе бикарбоната железа, окислении закисного железа до трехвалентной формы и избыточном образовании карбонат – ионов с одновременным увеличением рН при удалении свободной углекислоты [6].

В результате нарушения химического равновесия в прифилтровой зоне за счет понижения давления, происходит десорбция свободной углекислоты из подземных вод. При этом интенсифицируется гидролиз бикарбоната железа, в результате чего  $Fe^{2+}$  окисляется до  $Fe^{3+}$  с образованием гидроксида трехвалентного железа  $Fe(OH)_3$ , основного кольматирующего соединения [6,3].

Кроме так называемой «свободной» углекислоты, находящиеся в виде растворенного в воде газа  $CO_2$  и недиссоциированных молекул  $H_2CO_3$ , содержится «полусвязанная» углекислота в виде бикарбонатных ионов  $HCO_3^-$ , а в некоторых случаях и «связанная» углекислота в виде карбонатных ионов  $CO_3^{2-}$ . В подземных водах существует динамическое равновесие между различными формами угольной кислоты:



Из этого уравнения следует, что для поддержания в растворе определенной концентрации бикарбонатных ионов  $HCO_3^-$  требуется, чтобы в воде присутствовало соответствующее этой концентрации количество свободной углекислоты  $CO_2$ , называемой равновесной углекислотой [3,1].

Если количество свободной углекислоты больше равновесной концентрации, то избыток способен вызывать растворение карбоната кальция. При недостатке  $CO_2$  будет существовать тенденция к распаду части бикарбонатных ионов, т. е. к сдвигу вправо равновесия (2.1). Это приведет к дополнительному образованию  $CO_3^{2-}$ , которые будут реагировать с присутствующими в подземных водах катионами кальция, с выделением из раствора осадка карбоната кальция в соответствии с уравнением:



Склонность воды выделять осадок карбоната кальция или растворять его, определяется индексом насыщения, предложенным Ланжелье в 1936 году. Индекс насыщения равен разнице между замеренной (фактической) и расчетной (равновесной), для данной гидрохимической системы величинами рН [3]:

$$J = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (2.3)$$

Для расчета  $\text{pH}_s$  И. Э. Апельциным составлена номограмма, в котором  $\text{pH}_s$  определяется как функция температуры  $f_1(t)$ , содержания кальция  $f_2(\text{Ca}^{2+})$ , величины щелочности  $f_3(\text{Щ})$  и общего солесодержания  $f_4(p)$ :

$$\text{pH}_s = f_1(t) + f_2(\text{Ca}^{2+}) + f_3(\text{Щ}) + f_4(p) \quad (2.4)$$

Если  $\text{pH} > \text{pH}_s$ , то вода склонна к выделению карбоната кальция, а при  $\text{pH} < \text{pH}_s$  вода способна растворять карбонат кальция.

Индекс Ланжелье не является объективным показателем стабильности воды, так как различные растворы, характеризующиеся одинаковым индексом Ланжелье, могут значительно отличаться по величине кислотности (щелочности).

Более объективную оценку условий стабильности раствора дал Ризнер в 1944 году. Индекс стабильности по Ризнеру определяется по формуле:

$$\text{Ri} = 2\text{pH}_s - \text{pH} \quad (2.5)$$

Установлено, что при  $\text{Ri} < 7,0$  воды всегда склонны к выделению коагулирующих образований [6].

Для оценки возможности коагуляции солями жесткости и железистыми соединениями были определены, для условий коммунального водоснабжения Беларуси [16,17,18] и отдельно г. Минска, следующие параметры: рН,  $\text{pH}_s$ , показатель Ризнера (Ri) и индекс насыщения (J) (табл. 2.1). Для наглядности расчетные данные показателя Ризнера по водозаборам республики приведены на рис. 2. 2.

Подземные воды, приуроченные к верхним мелам  $K_{2\text{ср}}$ , верхнему девону  $D_3 \text{ fr}$  имеют положительный индекс насыщения и относительно низкий показатель Ризнера (6,5

– 7,5). Такие воды способны откладывать на фильтрах скважин соли жесткости. Согласно шкале Ризнера [22] воды не коррозионны.

Эти воды эксплуатируют водозаборные скважины городов Витебска, Гордка, Дубровно, Орши, Лиозново, Костюковичей и др. в восточной части республики.

Отрицательные значения индекса насыщения характерны для центральной, западной и южной части республики. Такие воды способны растворять карбонатные отложения (величина рН ниже рН<sub>s</sub>, избыток в растворе углекислоты).

Причем для южной части республики характерны максимальные значения показателя Ризнера: согласно шкале Ризнера воды коррозионны в высокой степени – «красная вода». Высокие показатели Ризнера характерны для водозаборов городов Лельчицы, Житковичи, Наровля, Калинковичи и др. (рис. 2. 2).

Значения показателей Ризнера и Ланжелье для областных городов Республики Беларусь и водозаборов

Таблица 2. 1

Номер и место расположения скважины	Геологический индекс	Индекс Стабильности, Ri	Индекс Насыщения, J
г. Минск			
в/з «Дражня»	f, II dn-sz, PR <sub>3</sub>	8,2	-0,104
в/з «Зеленый луг»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	7,97	-0,14
в/з «Острова»	f, II dn- sz	7,89	-0,133
в/з «Волма»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	8,23	-0,19
в/з «Вицковщина	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	7,89	-0,17
в/з «Водопой»	f, II dn- sz	8,31	-0,26
в/з «Фелицианово»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	8,03	-0,24
в/з «Зеленый бор»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	8,26	-0,24
в/з «Новинки»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	7,91	-0,14
в/з «Зеленовка»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	7,86	-0,06
в/з «Петровщина»	f, II dn- sz, PR <sub>3</sub>	7,81	-0,13
г. Витебск			
в/з №4		6,8	+0,22
в/з №1		7,22	+0,057
г. Гомель			
в/з «Центральный»		7,59	-0,08667
в/з «Кореневский»		8,43	-0,44
в/з «Западный»		7,53	-0,1
в/з «Северный»		7,42	+0,12
г. Гродно			
в/з «Пышки»		7,663	-0,085
в/з «Гожка»		8,07	-0,27
в/з «Чеховщина»		7,95	-0,22
г. Брест			
в/з №1		7,3	+0,13
в/з №2		7,24	+0,15
в/з №3		7,64	+0,1



Рис. 2.2 Расчетные значения показателя Ризнера по водозаборам Республики.

Примечание: цифры – среднеарифметические значения показателя Ризнера.

Для водозаборов г. Минска индекс насыщения  $J$  в изучаемой воде находится в пределах  $-0,65 \div +0,39$ , показатель Ризнера колеблется от 7,12 до 8,76 (табл. 2. 1). При таких значениях индекса насыщения и показателя Ризнера воды способны коагулировать фильтры и прифильтровые зоны скважин главным образом соединениями железа и в

меньшей степени солями жесткости. Это подтверждается исследованиями состава кольматирующих отложений [13].

Для анализа химического состава кольматирующих соединений были отобраны образцы кольматирующих осадков, в основном с погружных насосов, водоподъемных труб [5,16,17,18,19,20,21]. Часть образцов (водозабор «Новинки» скв. №1, 6, 29, 34, 35; водозабор «Боровляны» скв. №27, водозабор «Зеленовка» скв. №3; водозабор «Дражня» скв. № 20; водозабор «Головной», г. Речица скв. № 19) взяты при реагентной обработке скважин. Результаты анализа даны в таблице 2.2.

Результаты химического анализа показали, что основными составляющими образцов являются оксиды железа (40 – 70%) и кальция (3 - 38%)(рис. 2.3). Им сопутствуют в небольших количествах оксиды фосфора, алюминия, магния и марганца, распределение которых приведено на рис. 2.4. Содержание оксида серы в некоторых случаях достигает 10 – 17%. Это в основном сульфидная сера, присутствующая в образцах, содержащих сульфиды железа.

Железистая составляющая представлена лимонитом, гетитом, гидрогетитом, маркизитом и свободными оксидами железа.

Кальций откладывается в виде карбонатных солей. Карбонатная составляющая представлена доломитом и кальцитом.

Присутствующие в образцах кольматанта сульфиды железа можно рассматривать как продукт жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

Значения коэффициентов корреляции, между параметрами химического состава кольматанта, представлены в таблице. 2.3.

Номер скважины	Содержание компонентов, %										
	Потери при прокаливании	Окись Железа, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Закись Железа, FeO	Окись алюминия, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Окись кальция, CaO	Окись Магния, MgO	Силикаты, SiO <sub>2</sub>	Окись Фосфора, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Окись Марганца, MnO <sub>2</sub>	Сумма	Окись Серы, SO <sub>3</sub>
№22, в/з «новинки»	24,83	71,47	0,58	0,64	0,26	-	1,61	0,21	0,08	99,68	0,58
№18, в/з «зеленовка»	21,64	68,1	0,83	0,83	5,57	0,87	1,79	0,37	0,17	99,83	0,59
№7, в/з «островы»	24,33	67,52	0,69	0,26	4,22	0,11	1,57	0,03	1,69	100,42	0,77
№25, в/з «водопой»	22,56	74,85	0,72	0,19	0,15	-	1,78	0,02	0,1	100,37	0,45
№20, в/з «дражня»	18,59	38,49	11,77	5,1	23,32	0,1	1,27	-	-	99,64	9,56
№12, в/з г. Могилев	27,49	54	13	0,9	3,74	0,34	0,03	0,13	0,13	99,76	15,58
№12, в/з г. Гомель	18	67,28	8,97	0,61	3,75	0,25	0,06	0,1	0,1	99,92	10,13
в/з г. Витебск	42,22	3,9	-	-	49	1,76	2,25	-	0,05	99,33	0,14
№10, в/з г. Светлогорск	18,75	60,23	0,14	-	3,9	-	3,75	13,08	0,1	99,95	0,32
№22924, в/з г. Лида	32,26	15,21	6,64	0,8	37,58	0,09	0,94	0,16	4,71	99,39	3,39

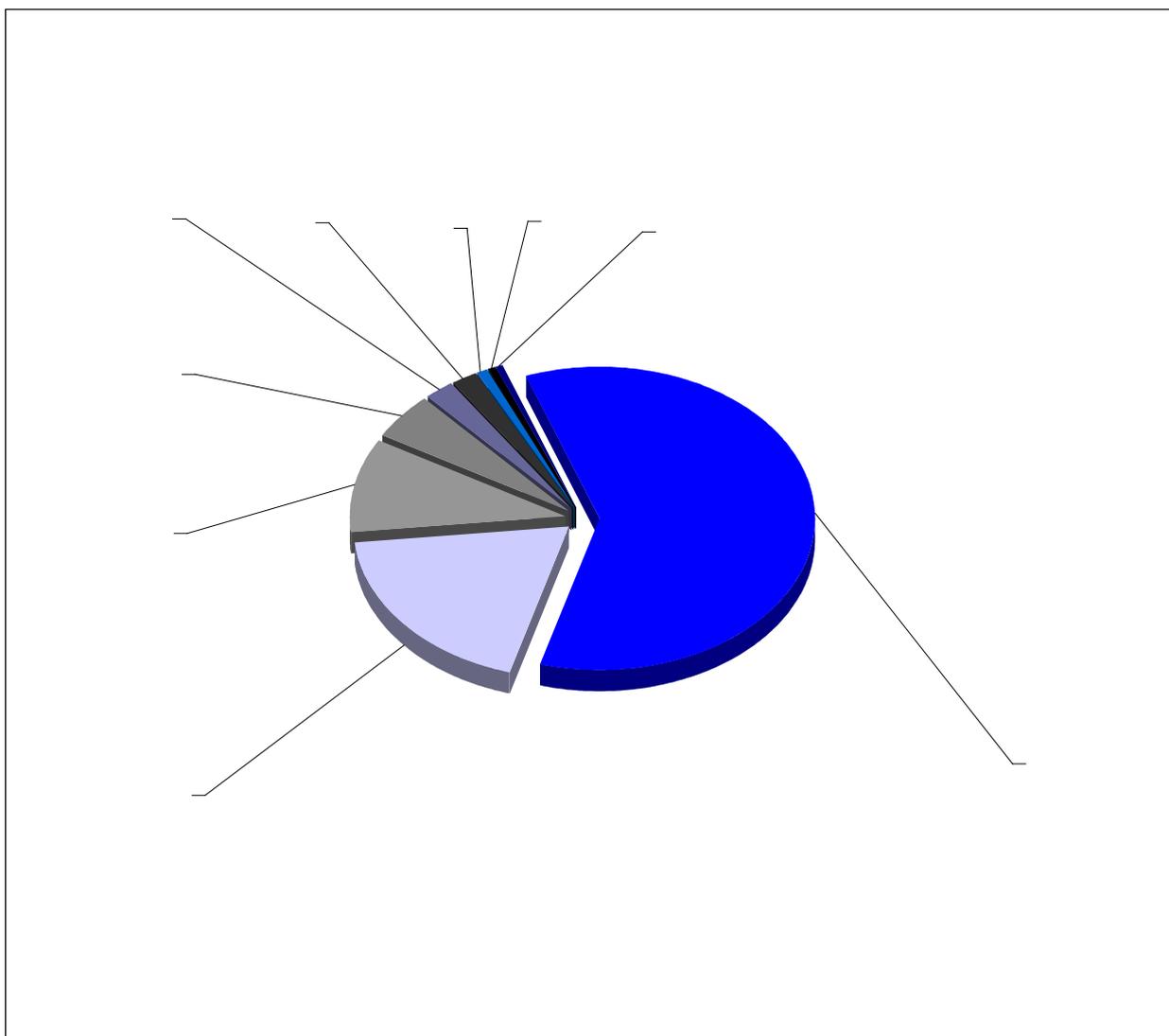


Рис. 2. 3 Состав кольматирующих образований водозаборных скважин.

Основные компоненты:

- 1 – окись железа ( $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ ) – 60,4 %;
- 2 – потери при прокаливании – 18,6 %;
- 3– окись кальция ( $\text{Ca O}$ ) – 10 %;
- 4 – закись железа ( $\text{Fe O}$ ) – 5 %;
- 5– силикаты ( $\text{Si O}_2$ ) – 2 %;
- 6 – окись фосфора ( $\text{P}_2 \text{O}_5$ ) – 2 %;
- 7 – окись алюминия ( $\text{Al}_2 \text{O}_3$ ) – 1 %;
- 8 – окись магния ( $\text{Mg O}$ ) – 0,5 %;
- 9 – окись марганца ( $\text{Mn O}_2$ ) – 0,5 %;

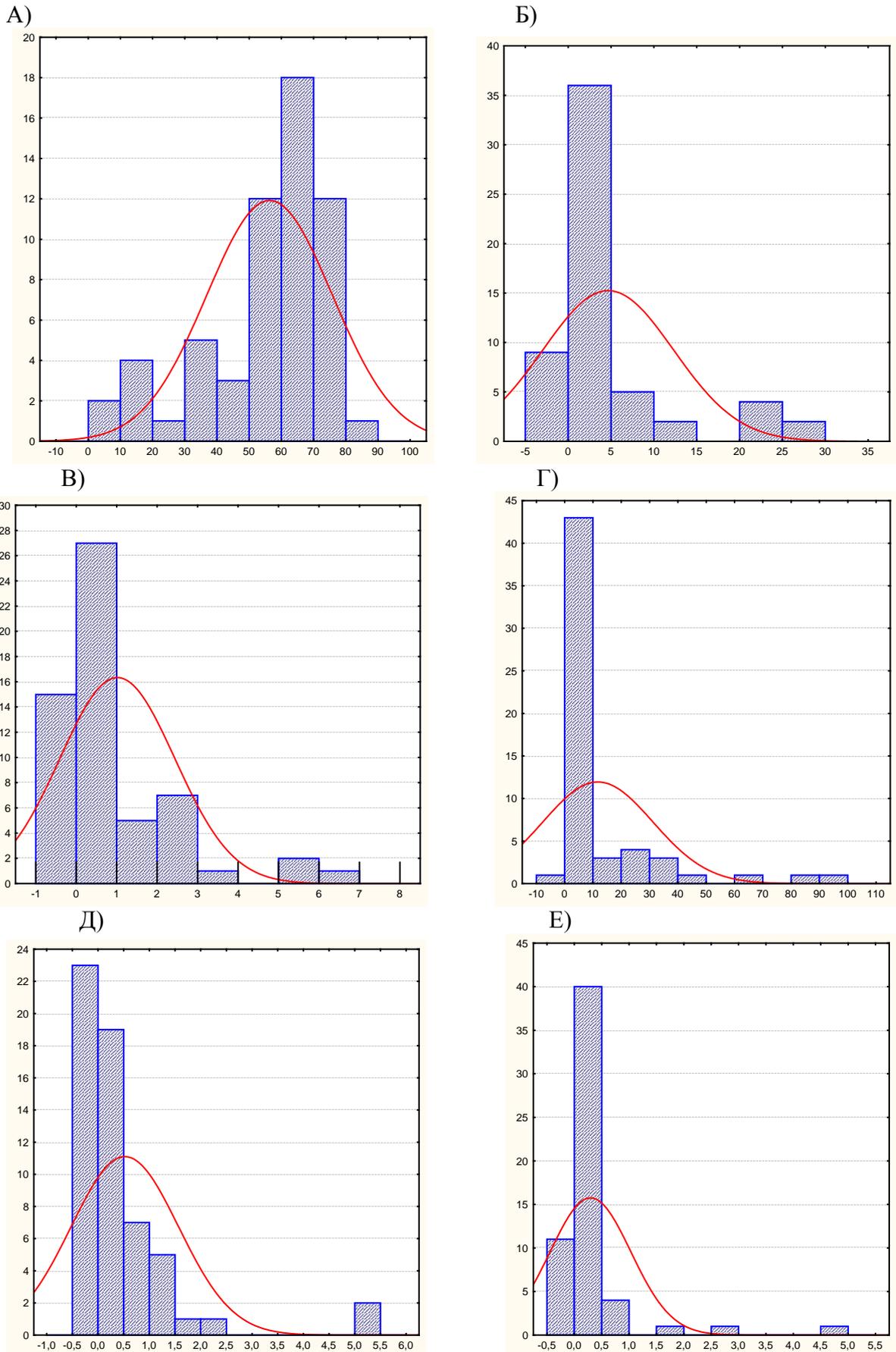


Рис. 2. 4 Диаграмма распределения содержания окислов в кольматирующих образованиях: а) железа б) закисного железа в) алюминия г) кальция д) магния е) марганца.

Значения коэффициентов корреляции для химического состава кольматанта

Таблица 2. 3

Компоненты	Химические компоненты								
	Потери при прок.	Окись железа	Закись железа	Окись алюм.	Окись кальция	Окись магния	си-ты	Окись фосфора	Окись марганца
Потери при прок.	1,00	-0,13	0,11	0,09	-0,42	-0,27	0,21	-0,01	0,29
Окись железа	-0,13	1,00	-0,37	-0,01	-0,69	-0,07	0,08	-0,03	-0,21
Закись железа	0,11	-0,37	1,00	0,30	-0,03	0,06	-0,05	-0,14	-0,03
Окись алюминия	0,09	-0,01	0,30	1,00	-0,16	-0,10	0,21	-0,24	0,24
Окись кальция	-0,42	-0,69	-0,03	-0,16	1,00	0,19	-0,36	-0,15	0,07
Окись магния	-0,27	-0,07	0,06	-0,10	0,19	1,00	-0,06	-0,18	-0,11
Силикаты	0,21	0,08	-0,05	0,21	-0,36	-0,06	1,00	0,24	0,03
Окись фосфора	-0,01	-0,03	-0,14	-0,24	-0,15	-0,18	0,24	1,00	-0,09
Окись марганца	0,29	-0,21	-0,03	0,24	0,07	-0,11	0,03	-0,09	1,00

Профилактические мероприятия, позволяющие несколько снизить интенсивность процессов химического кольматажа, следует предусматривать как при конструировании скважин, так и в процессе их работы.

При эксплуатации скважин в водоносных горизонтах с подземными водами, склонными к выделению кольматирующих образований, следует избегать неравномерности режима эксплуатации, в результате которого происходит аэрация подземных вод, надежно герметизировать устья скважин, исключать использование эрлифтных водоподъемников, проверять работу обратных клапанов погружных насосов с тем, чтобы предотвратить поступление аэрированных вод в интервал установки фильтра, и самое главное, необходимо предусматривать регулярную регенерацию скважин на основе прогноза снижения их производительности [6].

### 2.2.1. геохимическая характеристика подземных вод зоны активного водообмена как среды кольматаобразования

Пресные подземные воды Республики Беларусь развиты в зоне интенсивного водообмена на глубинах от нескольких до 300 – 400 метров относительно земной поверхности. Инфильтрация вод в толщу земной коры наиболее активно осуществляется на участках, приуроченных к орографическому водоразделу Балтийского и Черного морей (Минская, Новогрудская, Волковысская и другие возвышенности). Прослеживается гидрохимическая зональность, проявляющаяся в закономерной смене типа вод по мере увеличения глубин залегания водоносных горизонтов от гидрокарбонатно-кальциевых и гидрокарбонатно-кальциевых-магниевого до сульфатно-кальциевых, сульфатно-натриевых в глубоко залегающих высокоминерализованных водоносных горизонтах. В районах городов Полоцка, Бобруйска, Глуска, Петрикова, Речицы, Слуцка на отдельных участках зоны активного водообмена существующая зональность нарушается присутствием вод повышенной минерализации, связанных с подтоками из глубоко залегающих водоносных горизонтов по тектоническим разломам. В целом, в условиях достаточно высокой проницаемости первых от поверхности водоносных горизонтов, формируются относительно однотипные по составу пресные гидрокарбонатно – кальциевые воды, общее солесодержание (минерализация) которых варьируется от 150 – 200 до 600 – 700 мг/л [22].

Элементный состав питьевых подземных вод республики сложен, а его изучение представляет большой практический интерес как из санитарно – гигиенических соображений, так и в связи с активной ролью отдельных химических компонентов в процессах кольматаобразования. Для выяснения природы и характера этих процессов представляет интерес оценка следующих физико-химических параметров вод: концентрация и формы железа, кальция, магния, алюминия, кремния, сульфатов, хлоридов, водорастворенного органического вещества, свободной углекислоты, а также щелочнокислых и окислительно-восстановительных условий.

Качество подземных вод характеризуется по данным химического анализа, полученным в УП «Водоканал» областных городов республики и г. Минска [16,17,18].

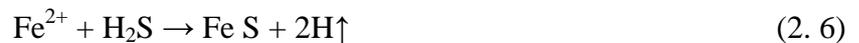
Для централизованного хозяйственно – питьевого водоснабжения территории Республики Беларусь используются подземные воды от четвертичных до верхнепротерозойских водоносных горизонтов, литологически представленных преимущественно песчано-гравийными отложениями, известняками, доломитами, песчаниками. Водоносные горизонты и комплексы, содержащие гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией от 200 до 800 мг/л, распространены, как правило, до глубины 200 – 300 м.

Использующиеся в народном хозяйстве республики подземные воды отличаются высоким качеством за исключением повышенного содержания железа.

Реакция среды (рН) исследуемых вод лежит в пределах от 7 до 8,2. Содержание марганца колеблется от 0,05 до 0,55 мг/л. В анионном составе преобладают гидрокарбонат – ионы ( $\text{HCO}_3^-$ ), сульфат ионы ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлориды в незначительном количестве, за исключением некоторых случаев (г. Орша водозабор «Южный», г. Минск водозабор «Новинки»).

При рассмотрении вертикальной зональности химического состава подземных вод на территории республики, можно отметить рост концентрации гидрокарбонат–иона с глубиной. Вместе с тем наблюдается сокращение в водах иона  $\text{SO}_4^{2-}$ . Этот процесс связан с восстановлением сульфат – иона с помощью сульфатредуцирующих бактерий, активно действующих в условиях обычно свойственных подземным водам (рН = 4 – 10,5, температура от 0 до  $80^\circ\text{C}$ ).

Напорные воды неоген – палеогенового комплекса Беларуси имеют величину общей минерализации в среднем 100 – 250 мг/л и характеризуются незначительным содержанием сульфатов и часто присутствием сероводорода. Сероводород, выделяющийся при реакции восстановления сульфатов, может взаимодействовать с растворенным в воде железом с образованием сульфидов по схеме:



Концентрация кремнекислоты в подземных водах республики значительно колеблется до 60 мг/л, составляя в среднем 28 мг/л.

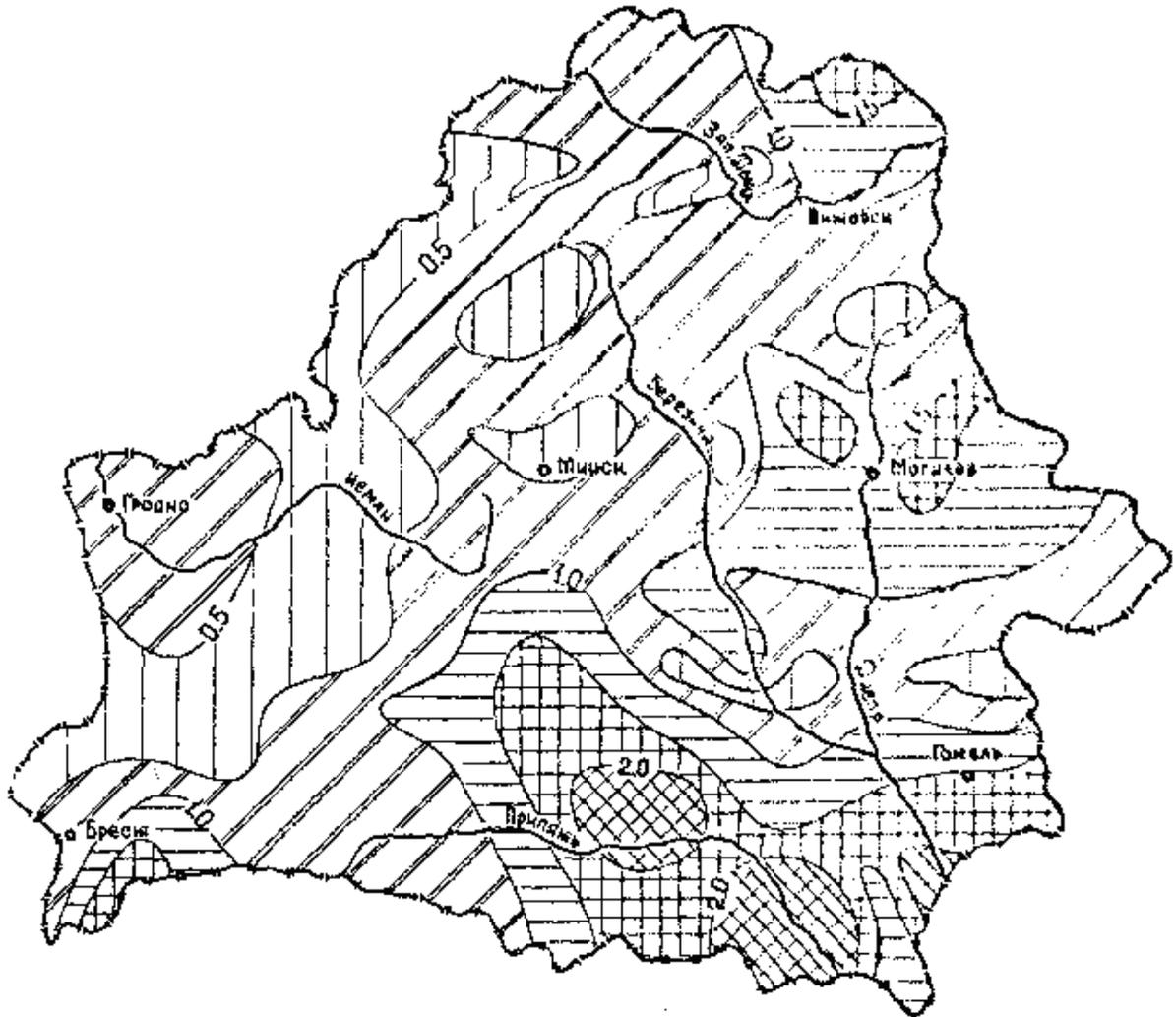
Для подземных вод верхнемелового комплекса городов Витебска, Гомеля, Орши характерно увеличение их минерализации, главным образом в результате увеличения концентрации  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . В катионном составе преобладающим является кальций (30 – 140 мг/л), второе место занимает магний (4 – 40 мг/л). Максимальное значение концентраций  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  характерны подземным водам, приуроченным водоносным трещиноватым карбонатным отложениям (г. Гомель и восточная часть области; центральная и восточная часть Могилевской области; г. Витебск, северная и северо – восточная часть области).

На рисунке 2.5 приведено содержание растворенного железа по водозаборным скважинам территории Беларуси [22]. Около 80% пресных вод республики содержат железа в концентрациях, превышающих требования нормативных документов [16,17,18]. В среднем содержание железа для всего комплекса эксплуатационных водоносных горизонтов находятся в пределах от 1,2 до 1,6 мг/л.

Повышенное содержание железа в подземных водах рассматривается как отрицательный фактор с точки зрения органолептических показателей воды. Кроме того, этот

фактор оказывает решающее влияние на активизацию колюматирующих процессов, приводящих к сокращению продолжительности стабильной работы водозаборных скважин.

Наивысшее содержание железа (до 4,5 – 5 мг/л) отмечено в подземных водах, приуроченных к палеоген–неогеновым водоносным отложениям (водозаборы городов Лельчицы, Наровля, Петрикова, Калинковичи, Речицы, Гомеля и др.).



СОДЕРЖАНИЕ ЖЕЛЕЗА:

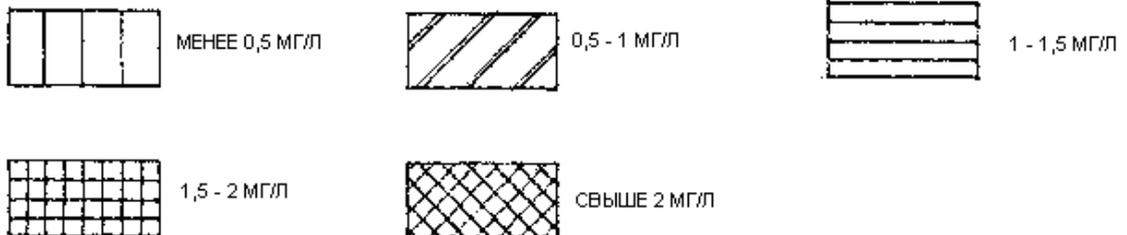


Рис. 2.5 Карта распространения железа в подземных водах зоны активного водообмена Беларуси.

При изучении возможности кольматажа фильтров скважин на примере водозаборов г. Минска установлено, что скважины г. Минска каптируют воду из двух водоносных горизонтов: верхнего – днепровско-сожского водно-ледникового и нижнего – верхнепротерозойского (отложения валдайской серии). Эксплуатационные запасы подземных вод днепровско-сожского водно-ледникового водоносного горизонта более чем в 6 раз превышают запасы верхнепротерозойского [27]. Поэтому из всех скважин 11-ти водозаборов только 6% каптируют воду из верхнепротерозойского водоносного горизонта.

Водовмещающие породы верхнего днепровско-сожского горизонта представлены разномерными песками, гравием, галькой. Горизонт перекрывается сожскими моренными отложениями, а подстилается днепровской мореной, залегает на глубине от 20 до 70 м, его мощность колеблется от 15 до 45 м. Статические уровни устанавливаются на глубине от +1,5 до 33 м, в среднем 12,4 метров, а динамические – от 4,1 до 58 м, в среднем – 19,4 м.

Водоносный валдайский терригенный горизонт верхнего протерозоя представлен разномерными песчаниками, в различной степени трещиноватыми и сцементированными, с прослоями алевролитов. Мощность этого горизонта колеблется от 20 до 100 м, и залегает на глубине от 220 до 315 м. Статические уровни устанавливаются на глубине от 12 до 43 м, в среднем 25,6 метров, а динамические – от 21,5 м до 65 м, в среднем – 42 м [27].

Химический состав подземных вод г. Минска гидрокарбонатный кальциево-магниевый, минерализация изменяется от 104 до 749 мг/л.

Наиболее вероятные значения параметров химического анализа, полученные статистическим методом, приведены в таблице 2.4

Значения параметров химического анализа воды г. Минска

Таблица 2.4

Параметры химического анализа воды	Количество наблюдений	Среднее арифметическое	Доверительный интервал -95%	Доверительный интервал +95%	Минимум	Максимум
Fe общ, мг/л	317	0,6098	0,5088	0,7108	0,05	9,95
pH	317	7,7192	7,6943	7,7442	7,15	8,4
Общая минерализация, мг/л	317	263,571	253,6979	273,444	104	749
Сульфаты, мг/л	317	13,8592	12,4362	15,2822	0,11	98
Ca, мг/л	317	55,6621	53,7794	57,5447	8	112,2
Cl, мг/л	317	13,8725	11,5071	16,2379	1,6	211,9
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	317	1,1729	1,0686	1,2772	0,3	8,4

Значение рН исследуемой воды г. Минска находится в пределах 7,15 – 8,4. В соответствии с классификацией В. В. Иванова и Г. А. Невраева воды являются слабощелочными так как рН находится в пределах  $7,2 < \text{pH} < 8,5$ . При таких значениях рН закисное железо мигрирует в ионной форме. Поэтому кольматаж фильтров и прифильтровых зон гидрозакисью железа маловероятен. Но трехвалентное железо будет в форме коллоида или преимущественно даже в виде суспензии, поскольку коагуляция коллоидальной гидроокиси железа в зависимости от солевого состава воды происходит при  $\text{pH} = 6 - 7$ . Процесс кольматации фильтров соединениями железа будет идти только в окислительной обстановке при наличии в водах кислорода, необходимого для перевода иона железа в трехвалентную форму. Аэрация подземных вод наиболее интенсивно происходит в непосредственной близости от скважины. В отдельных случаях окисление закисного железа происходит за счет кислорода, содержащегося в незначительных концентрациях в воде, при турбулизации потока в гравийной обсыпке и фильтре. Кроме того, насыщенные кислородом безнапорные грунтовые воды могут проникать в напорный пласт через так называемые «гидрогеологические окна» [6].

Содержание сульфатов в подземных водах Минска изменяется в пределах от 0,11 до 98 мг/л. Это указывает на то, что воды по отношению к сульфатам является слабоагрессивной ( $< 300$  мг/л). Содержание в воде сульфатов предполагает выделения осадка на фильтрах в виде малорастворимого сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$ , а также при наличии сульфатредуцирующих бактерий еще и образование сульфидов железа.

Растворенные в воде хлориды являются ускорителями коррозии вследствие разрушающего действия хлор иона ( $\text{Cl}^-$ ) на защитные пленки. Содержание хлоридов в водах г. Минска составляет 1,6 – 211,9 мг/л (табл. 2.4). По отношению к хлоридам вода считается среднеагрессивной.

Низкая окисляемость (0,3 – 8,4  $\text{мгO}_2/\text{л}$ ) свидетельствует о том, что в воде содержится небольшое количество органических веществ.

Таким образом, в результате исследования можно сделать следующие выводы:

1) На территории республики подземные воды, используемые в водоснабжении, в большей части содержат растворенное железо в концентрации, превышающей требования ГОСТ 2874 – 82 «Вода питьевая». Самое высокое содержание растворенного железа (4,5 – 5 мг/л) характерно подземным водам палеоген – четвертичного отложения (южная, юго-восточная часть республики).

Показатель Ризнера ( $>9$ ) по шкале Ризнера указывает на высокую коррозионную способность воды. Кольматаж в этом районе в большей степени обусловлен отложением продуктов коррозии на ячейки фильтра.

2) По всей территории республики значения рН подземных вод находится в пределах от 6,6 до 8,2. В таких условиях трехвалентное железо откладывается на фильтрах, в водоподъемном оборудовании в форме коллоида, либо суспензии, т.к. коагуляция коллоидной гидроокиси железа происходит в этом диапазоне рН.

3) Подземные воды, приуроченные к меловым и верхнедевонским отложениям способны выделять карбонатные отложения. Индекс насыщения положителен.

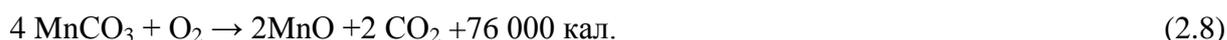
Показатель Ризнера лежит в пределах от 6,5 до 7,5. Воды слабокоррозионны. Высокое содержание в воде железа, рН в диапазоне от 6,5 до 8,2 способствует кольматации фильтров соединениями железа.

4) Сероводород, содержащийся в подземных водах, определяет выделение на фильтрах скважин осадков в виде сульфидов.

### 2.3. Биологический кольматаж скважин и меры по его предупреждению

Процессы химического кольматажа, происходящие в прифильтровых зонах скважин, интенсифицируются биологической деятельностью. Основной причиной этого являются железо-, сульфат- и марганцевые бактерии, которые в нескольких видах присутствуют во всех водоносных породах и подземных водах и в результате жизнедеятельности осаждают железо, марганец и выделяют сероводород из подземных вод. Все организмы, способные осаждать эти компоненты из подземных вод, можно разбить на четыре основные группы [6,24].

Первую группу составляют железо и марганцевые бактерии, способные использовать энергию окисления закисных соединений Fe и Mn по уравнению:



Сюда относятся *Leptothrix*, *Gallionella*, *Siderococcus* и другие железобактерии автотрофного образа жизни, использующие энергию как солнца, так и энергию окисления других веществ. Длина отдельных разновидностей (*Leptothrix ochracea*) достигает 1 см. Они могут прикрепляться к субстрату и вести плавающий образ жизни, по существу, производя хемосинтез.

Ко второй группе относится ряд гетеротрофных организмов, покрытые слизистой оболочкой, которая может абсорбировать из раствора окисные или закисные соединения, пропитывать их гидратом окиси Fe или Mn. Энергия, выделяющаяся при окислении этих соединений, организмами не используется. Сюда относится ряд нитчатых бактерий из рода *Cladothrix*.

К третьей группе могут быть отнесены организмы, которые способны использовать органические соединения гуматов железа. Типичный представитель этой группы *Siderocapsa treubii*. Эти бактерии, используя для своего питания органическую часть гуминового комплекса, осаждают освобождающееся железо на своей поверхности.

К четвертой группе относятся представители высшей водной растительности и нитчатых водорослей, например *Conferva*. Во время интенсивного фотосинтеза они используют углекислоту бикарбонатов, железа, кальция и марганца. При этом сильно подщелачивается окружающая среда и из раствора выделяются марганец и железо в виде гидратов окиси.

Железобактерии характеризуются следующими физиологическими особенностями: способностью оказывать каталитическое действие на процесс перевода закиси железа в окись, интенсивным выделением огромного количества гидрата окиси железа, основного продукта их окислительной работы. Они обычно не нуждаются в органических питательных веществах, присутствие которых в больших количествах угнетающе действует на их развитие. Все они предпочитают низкую температуру, свет не играет особой роли в жизнедеятельности железобактерий: они лучше размножаются в темноте. Наиболее благоприятная для развития железобактерий слабо – кислая реакция, но они могут развиваться при почти нейтральной реакции.

Необходимыми условиями развития железо- и марганцевых бактерий являются: 1) Величина рН должна находиться в пределах 5,7 – 7,2. 2) Содержание железа  $Fe^{2+}$  не должно быть меньше 1,6 мг/л и не превышать 10 – 12 мг/л. 3) Подземная вода должна содержать углекислоту 4) Окислительно – восстановительные условия должны характеризоваться величинами  $Eh > -10 мВ \pm 20мВ$ , а  $rH \geq 14,5 \pm 1$ . Процесс развития бактерий интенсифицируется с увеличением скорости фильтрации, так как в этом случае увеличивается интенсивность поступления питания ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ) к бактериям.

С целью уменьшения действия бактерий, для поддержания стабильной работы скважин, необходимо предусматривать профилактические мероприятия. К ним относятся 1) С частотой 1 раз в 3 – 4 месяца предусматривать хлорирование скважин с остаточной концентрацией хлора 5 – 7 мг/л. При этом возможно хлорирование скважин путем подачи воды с хлором из напорного водовода. После введения раствора хлорной извести в скважину целесообразно включить насос на 30 – 50 с и затем отключить его с тем, чтобы обработался не только фильтр, но и прифильтровая зона скважины. 2) Все оборудование включая и насосное, во время бурения скважины, ее ремонта и обслуживания, необходимо перед установкой дезинфицировать, для исключения попадания бактерий в скважину с поверхности земли. 3) Вода, используемая при бурении, очистке и другом обслуживании не должна быть взята из озер или прудов. 4) Обсадная труба скважины должна в обязательном порядке быть водонепроницаемой, сверху герметично закрыта, и выступать над поверхностью земли не менее чем на 0,5 м.

Более устойчивый эффект на длительный период времени обеспечивает установка в фильтре специального источника гамма лучей. В качестве такого источника опробовано применение радиоактивного кобальта и цезия, помещенных в закрытом излучателе [6,24].

Альтернативным и более дорогим методом борьбы с бактериями можно считать применение воды нагретой до температуры  $+ 60^0 C$ , и выдерживаемой в скважине в течении 30 минут.

Из всего выше изложенного можно заключить, что для Республики Беларусь в общем и для г. Минска в частности, условия для развития бактерий являются вполне приемлемыми, т. к. величина рН колеблется в пределах от 7 до 8,2, содержание железа лежит в пределах от 1,4 до 12 мг/л, в образцах кольматанта присутствует сульфид железа и наблюдается сокращение в водах иона  $SO_4$  (присутствие сульфатредуцирующих бактерий), а также отмечается разница в количественном содержании сульфида железа и окиси кальция в образцах, взятых с водоподъемного оборудования, и полученных при кислотных образцах.

### ГЛАВА 3

## РЕМОНТ СКВАЖИН, ОБОРУДОВАННЫХ ФИЛЬТРАМИ, И МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Эффективная работа водозаборов подземных вод при наличии процессов кольматажа возможна только при условии обязательного проведения восстановительных мероприятий. Основное назначение ремонтно-восстановительных работ – поддержание стабильной эксплуатации водозаборных сооружений. Успех этих работ обеспечивается обоснованным выбором межремонтного периода. По мере его увеличения усложняется технология обработки водозаборных сооружений и увеличивается ее стоимость [23,12].

Основной задачей работ при восстановлении производительности скважин на воду, оборудованных фильтрами, является удаление кольматирующих отложений с фильтра и из прифильтровой зоны. При этом главная трудность заключается в удалении кольматанта с наружной поверхности фильтра и гравийной обсыпки (водоносных пород). Решение этой задачи достигается растворением кольматирующих отложений при подаче реагента в призабойную зону скважины либо таким разрушением кольматанта и цемента обрастания, при котором размер образующихся кольматирующих частиц становится меньше размера пор гравийной обсыпки, и они выносятся при последующей или одновременной с импульсным воздействием прокачке [23].

Следовательно, если исключить методы очистки внутренней поверхности фильтра, то по характеру воздействия на фильтр и прифильтровую зону можно выделить две основные группы методов: реагентные и импульсные (табл. 3.1).

Первая группа этих методов предназначена для растворения кольматанта, и задачей технологических исследований является подбор вида реагента, его количества, обоснования рациональной технологии обработки в зависимости от гидрогеологических условий и конструкции скважины, надежного метода контроля хода обработки и критерия для оценки ее окончания.

Сочетание импульсных и реагентных методов призвано обеспечить большую эффективность вследствие создания более равномерной водопроницаемости пород в прифильтровой зоне по вертикали и развитой поверхности кольматанта при импульсном воздействии, что обеспечивает интенсивное и совершенное растворение внутриводяного цемента.

Методы регенерации скважин на воду											
Реагентные методы		Импульсные методы		Импульсно-реагентные методы							
Методы регенерации жидкими реагентами	Методы регенерации порошкообразными реагентами	Методы регенерации газообразными реагентами	Регенерация взрывом торпеды из детонирующего шнура (ТДШ)	Регенерация электрогидродударом	Регенерация пневмовзрывом	Регенерация имплозией	Виброреагентные методы				
							Низкочастотный вибрационный	Электровибрационный	Ультразвуковой (реагентно-акустический)	Дискретные импульсно-реагентные методы	
										Взрыв ТДШ в реагенте	Электроудар в реагенте

### 3.1. Факторы, влияющие на продолжительность работы скважин

К факторам, которые влияют с различной степенью интенсивности на продолжительность работы скважин, можно отнести геологическое строение, способ бурения, конструкцию скважины, конструкцию фильтра, способ установки фильтра, способы и сроки освоения скважин, и режим эксплуатации.

Для оценки продолжительности были проанализированы ликвидированные и действующие скважины 11-ти водозаборов г. Минска. Из 604 скважин, пробуренных с 1932 г до настоящего времени, 224 (37,1%) считаются полностью вышедшими из строя, остальные 380 (62,9%) скважин - действующими. Из 380 действующих, 337 (88,7%) скважин подвергались ремонту. Средний их возраст равняется 25,3 года, максимальный - 70 лет и минимальный - 6 лет. Остальные 43 (11,3%) скважины работают без ремонта. Средний их возраст 14,5 года, минимальный - 5 лет и максимальный - 42 года.

В качестве основного критерия продолжительности работы скважин принята средняя их долговечность.

По материалам УП «Минскводоканал» было проанализировано распределение по долговечности (рис. 3.1) и относительным частотам (рис. 3.2) 224 полностью вышедших из строя скважин, пробуренных в 1932 – 1995 гг. Кривая распределения скважин по долговечности характеризуется крутой левой и пологой правой ветвями, а также наличием максимума в интервале 18-22 лет.

Наиболее близкой к истине оказалась модель распределения гамма функции, обозначенная кривой линией на рис. 3.2. Это позволяет предполагать наличие единого закона гамма распределения долговечности скважин, что дает возможность делать прогноз их долговечности [11,7,8,26,30].

Для принятой модели распределения были вычислены основные выборочные числовые характеристики (табл. 3.1). При этом установлено, что основное число вышедших из строя скважин имеет глубину менее 100 м и долговечность их не превышает 20 лет, максимальное значение удельного дебита составляет 40,1 м<sup>3</sup>/ч·м, среднее 17,8 м<sup>3</sup>/ч·м и минимальное 1 м<sup>3</sup>/ч·м (рис. 3.3).

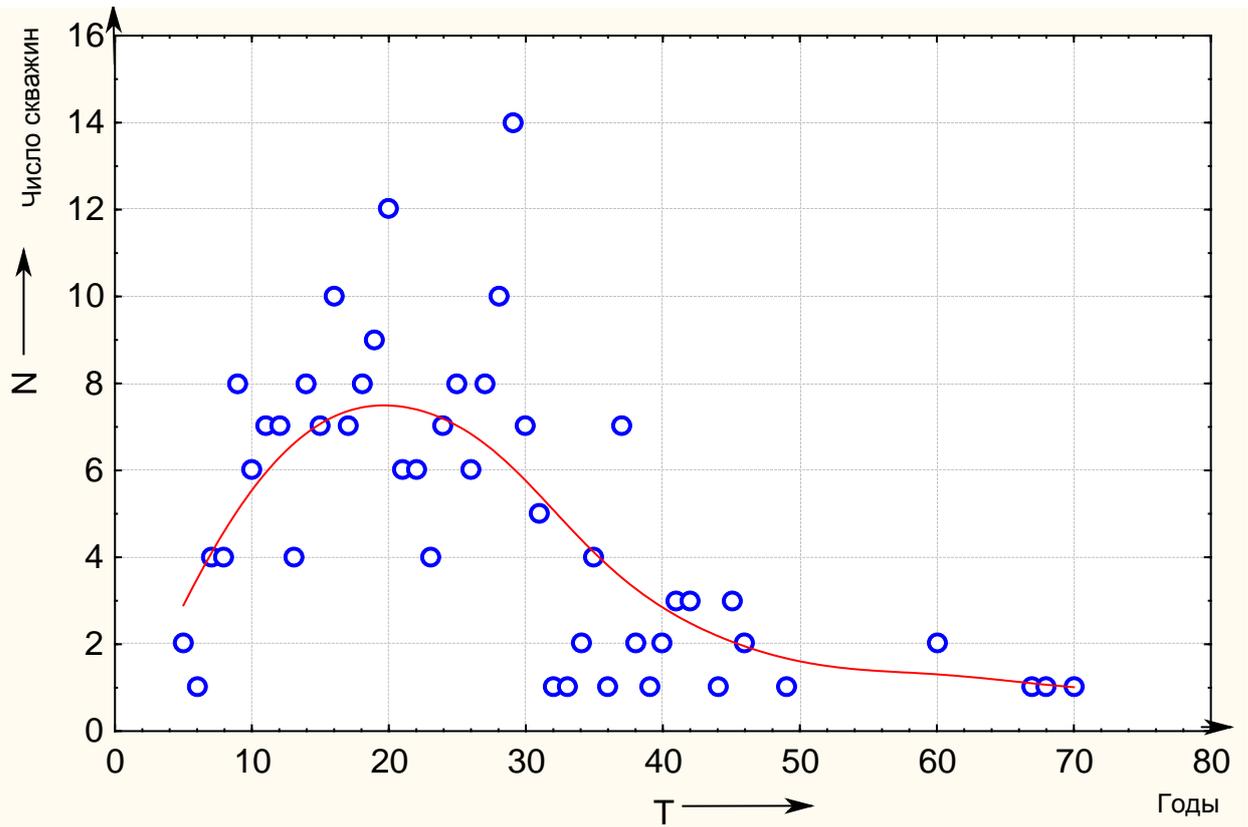


Рис. 3.1. График распределения скважин по долговечности.

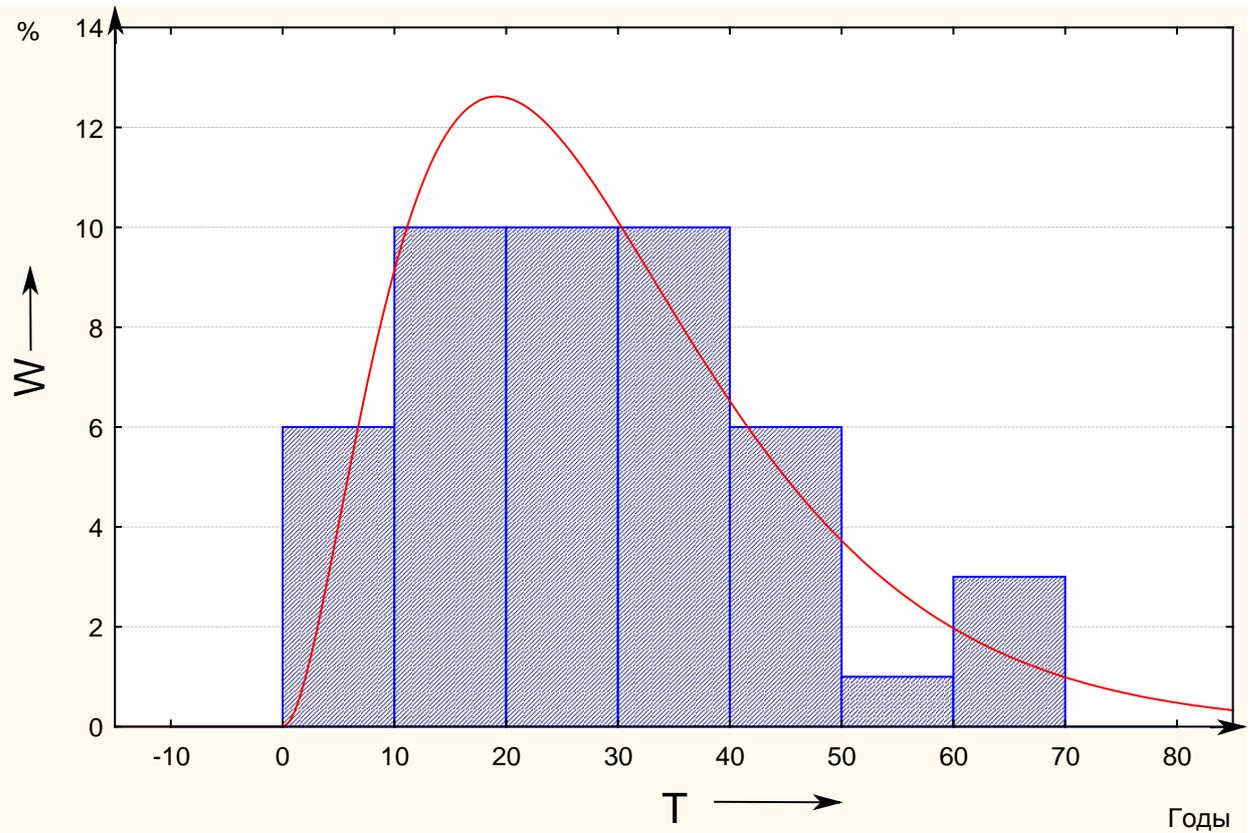


Рис. 3.2 Гистограмма плотности относительных частот  $W$  гамма распределения.

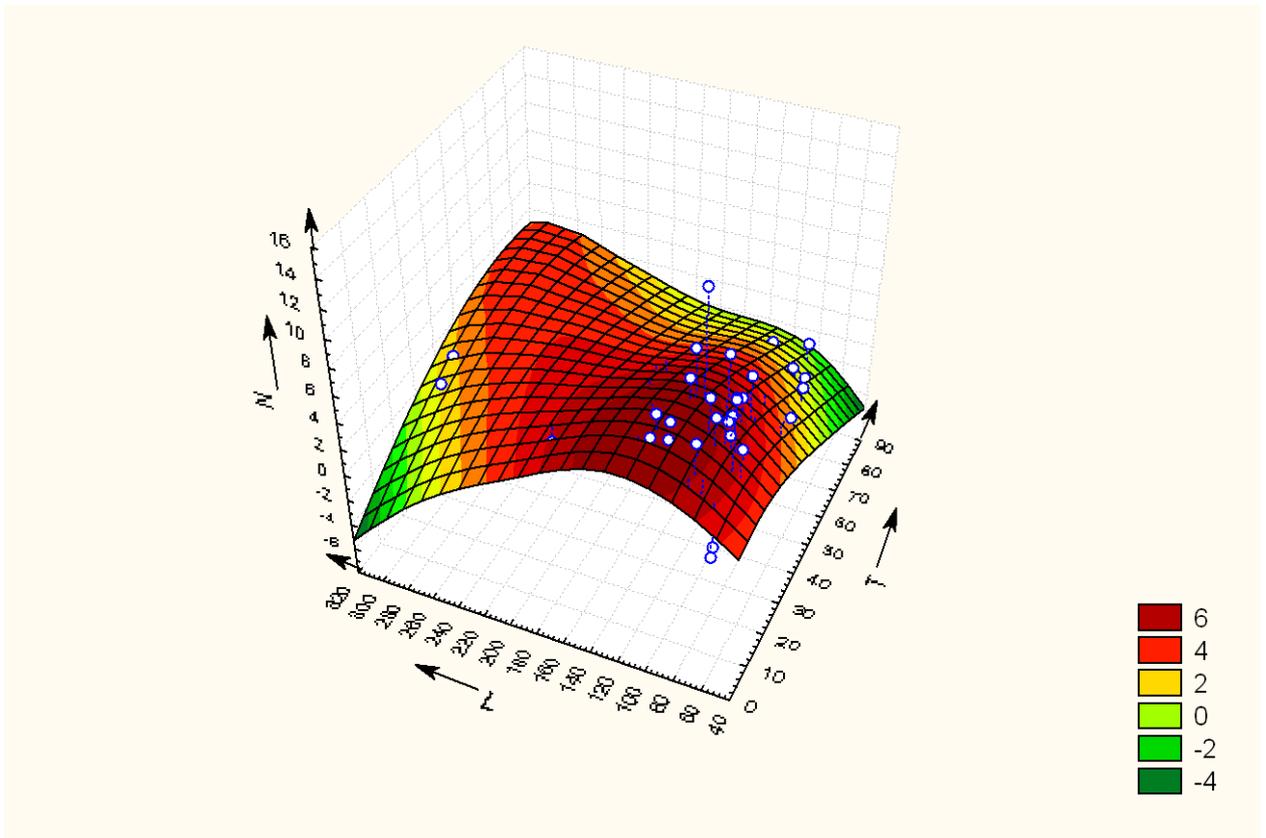


Рис. 3.3 График зависимости глубин L, долговечности T и количества N скважин

Основные выборочные характеристики долговечности скважин Таблица 3. 1

Описательные статистики	Значения статистик
Количество наблюдений	224
Среднее арифметическое	29,17
Доверительный интервал -95%	24,23
Доверительный интервал +95%	34,12
Среднее геометрическое	24,25
Медиана	27,5
Минимум	5
Максимум	70
Дисперсия	277,66
Среднее квадратическое отклонение	16,66
Стандарт	2,46
Асимметрия	0,728
Погрешность асимметрии	0,35
Экссесс	0,167
Погрешность эксцесса	0,687

При анализе зависимости удельного дебита и продолжительности работы скважин, наблюдается общая тенденция увеличения долговечности при возрастании удельного дебита (рис. 3.4) Очевидно, что одной из причин долговечности подобных скважин является уменьшение зоны турбулизации потока в прифилтровой зоне и отсутствия суффозионного выноса частиц. Тем самым создаются условия близкие к условиям гидрохимического равновесия[6].

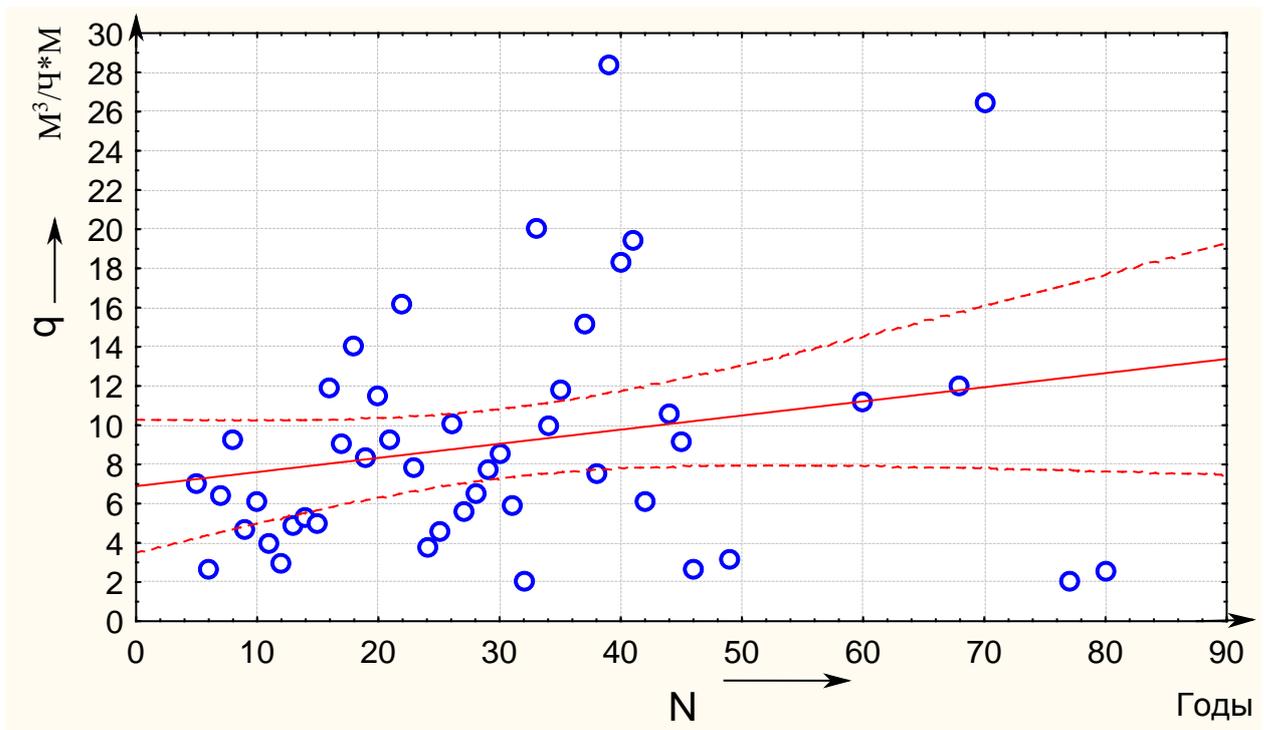


Рис. 3.4 График изменения удельного дебита  $q$  от долговечности  $N$ .

Ниже рассматривается влияние перечисленных факторов на продолжительность работы скважин.

**Геологическое строение.** Установлено, что благоприятные условия работы фильтров обеспечиваются в водоносных горизонтах, представленных среднезернистыми, крупнозернистыми или разномерными гравелистыми песками и галечниками мощностью от 5 м более [6].

Водоносные горизонты, представленные тонко- и мелкозернистыми песками малой мощности с частым переслаиванием глинистыми прослоями, обладают слабой водоотдачей. Эксплуатация скважин в этих условиях может сопровождаться выносом глинистой части пород, замутнением воды с весьма медленным отстаиванием.

Смена фильтров в данных условиях, как правило, не приводит к положительным результатам. Оплывание слоев, представленными илистыми или глинистыми разностями, понижает проницаемость пород на участке установки фильтра.

**Способ бурения.** В настоящее время водозаборные скважины можно бурить тремя основными способами: ударно – канатным, роторным с прямой промывкой забоя глинистым раствором и роторным с обратной промывкой забоя чистой водой. Каждый из этих способов имеет специфические особенности, влияющие на дебит скважины и продолжительность работы.

Ударно – канатный способ бурения влияет на структуру и литологическое строение водоносных горизонтов. Образование пробок в стволе скважин и их ликвидация при помощи обычных поршневых желонки приводит к вертикальному смещению и обрушению

пород, и следовательно, к заведомо к неправильной характеристике пород водоносных горизонтов.

При этом способе бурения изменяются гранулометрический состав, фильтрационный характеристики и мощность отдельных пластов и пропластков горных пород. Мелкие пропластки из разреза исчезают, а более мощные увеличиваются. Для объяснения этого явления рассмотрим детально процесс бурения. В момент работы желонки в трубах происходит вакуумирование, в результате которого наблюдается подплыв породы к забою скважины. По мере наполнения желонки породой при ее извлечении создается вакуум и при выходе желонки из-под статического уровня уровень в скважине понижается, что создает разность напоров внутри скважины и ее стенок. Оба эти фактора влияют на образование песчаных пробок, высота которых может достигать 8 – 10 м и более [12].

Наибольшее нарушение фильтрационных свойств водоносных горизонтов наблюдается в тех случаях, когда объем выбуренных пород во много, а иногда в десятки раз, превышает геометрический объем выработки. При этом часто образуются провальные воронки [6].

Роторный способ бурения с прямой промывкой забоя глинистым раствором относится к числу наихудших способов бурения при вскрытии водоносных горизонтов, представленных рыхлыми породами. Проникновение глинистого раствора в породы, недостаточно удовлетворительные методы и способы разглинизации искусственно занижают дебиты скважин, вследствие чего в мелко- и тонкозернистых песках получают малодебитные и даже безводные скважины.

Роторные способ бурения с обратной промывкой в отличие от двух указанных выше является наиболее прогрессивным; большие скорости бурения, минимальная подработка забоя, сохранение подлинных характеристик горных пород. Сооружение гравийных обсыпок большой мощности при правильном подборе гравия обеспечивает скважинам долголетнюю работу без пескования.

Для действующих водозаборных скважин г. Минска использовались в основном роторные с обратной промывкой забоя и ударно – канатные способы бурения. Для сооружения скважин использовались станки ударно – канатного бурения типа УКС – 22м и УКС – 30м и станки роторного бурения типа 1БА- 15В, УРБ – 3 ам и румынский станок ФА – 12. Процентное соотношение использования станков различного типа при бурении 380 действующих скважин представлено на рис. 3.5.

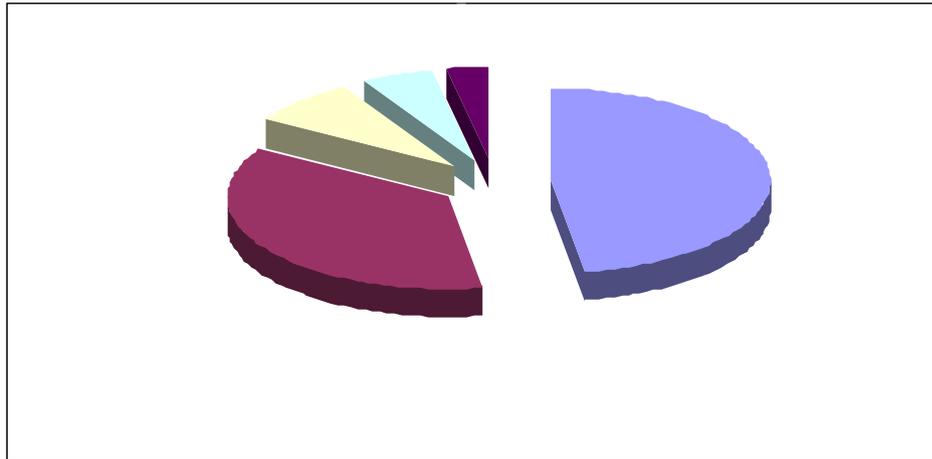


Рис. 3.2 Процентное отношение типов станков для пробуренных скважин г. Минска.

Примечание: 1- станок типа УКС – 22м;

2- станок типа ФА - 12;

3- станок типа УРБ – 3 ам;

4- станок типа УКС – 30м;

5- станок типа 1БА – 15В;

**Конструкция скважины.** В связи с развитием роторного способа бурения с прямой промывкой забоя глинистым раствором, при сооружении скважин глубиной до 100м и более, в целях экономии труб стали, применялись одноколонные конструкции скважин. Фильтры в этих скважинах устанавливаются на трубах того же диаметра. Когда скважина простояла много лет в грунтах, в которых гидроокись железа проникала в окружающий ствол породы, или когда в скважинах зацементировано затрубное пространство, извлечение труб невозможно, как и не возможна смена фильтров. Для поддержания дебита в этих случаях необходимы механические, гидравлические чистки и обработка химическими реагентами [6].

При установке фильтра впопай обеспечиваются условия для более успешной смены фильтра. Однако, при нагрузках 95 – 100 тс, как правило, фильтры не извлекаются. В большинстве случаев скважины ликвидируют из-за падения удельного дебита, вызванного нарушением работы фильтра, вследствие кольматажа или пескования. Обсадная колонна подвергается только воздействию коррозии со стороны подземных вод и кислотных обработок. Поэтому срок эксплуатации обсадной колонны в 2 -3 раза превышает срок эксплуатации фильтра. Фильтр является той основной частью скважины, от которого зависят основные эксплуатационные характеристики работы скважины, поэтому со временем разрабатываются более совершенные конструкции фильтров, имеющие минимальные гидравлические сопротивления, хорошую прочность и стойкость против коррозионного воздействия воды и химических реагентов.

Эксплуатация скважин с фильтрами, установленными впотай, более экономична, так как имеется возможность замены фильтра на более новый, без перебуривания новой скважины.

**Конструкция фильтров** оказывает большое влияние на дебит и срок эксплуатации скважин. При длительной эксплуатации скважины без предварительных восстановительных обработок, происходит или инкрустация как самого фильтра, так и прифильтровой зоны либо происходит разрушения материала фильтра вследствие коррозионного воздействия подземных вод. На рис. 2.1 представлены проволочный и щелевой фильтры, извлеченные после многих лет эксплуатации. На проволочном фильтре отчетливо видно, что кольматант покрывает не только внешнюю и внутреннюю поверхности, но и откладывается в пространстве между продольными опорными стержнями и проволочной обмоткой. После этого процесса, кольматант с течением времени, делается прочным как цементная корка и поэтому трудно поддается разрушению и растворению с последующим удалением из фильтра и прифильтровой зоны. Напротив, при воздействии агрессивных вод на фильтр происходит увеличение его скважности (рис. 2.1.б) и последующее разрушение, которое сопровождается усиленным пескованием. Оба эти явления, как инкрустация, так и коррозионное разрушение, негативно сказывается на дальнейшей работе скважины, поэтому при правильном расчете, подборе и обслуживании в процессе эксплуатации фильтра, удастся избежать этих проблем.

Для изучения взаимосвязи долговечности скважин и наиболее широко применяемых типов фильтров были проанализированы полностью вышедшие из строя скважины (группа А), скважины, продолжающие работать после ремонта (группа Б) и скважины, нормально работающие без ремонта (группа Д) водозаборов г. Минска. (табл. 3.2).

Результаты анализа показывают, что наибольшую долговечность имеют скважины, оборудованные сетчатыми, проволочными с гравийной обсыпкой и каркасно-стержневыми с гравийной обсыпкой фильтрами. Наблюдаемые ряды долговечности имеют в основном гамма и логнормальный законы распределения с наиболее вероятностными долговечностями соответственно (20-30) лет для сетчатых фильтров, (20-25) лет для фильтров проволочных с гравийной обсыпкой и каркасно-стержневых с гравийной обсыпкой.

Несмотря на полученную относительно высокую долговечность сетчатых фильтров, следует иметь в виду, что эти фильтры из – за малых отверстий сетчатого полотна могут работать долгое время без пескования, но с низкими удельными дебитами. Уменьшение производительности сетчатых фильтров также объясняется и тем, что они имеют большие входные сопротивления [29], быстро разрушаются под влиянием электрохимиче-

ской коррозии и под действием агрессивных вод [6]. Таким образом, применение сетчатых фильтров повышает себестоимость добываемой воды и снижает эффективность использования водоносного горизонта.

Взаимосвязь долговечности скважин и типа применяемого фильтра Таблица 3.2

Тип фильтра	Группа А									Группа В							
	n	Q, м <sup>3</sup> /ч			q, м <sup>3</sup> /ч·м			t			n	Q, м <sup>3</sup> /ч			q, м <sup>3</sup> /ч·м		
		Min	Ср	Max	Min	Ср	Max	Min	Ср	Max		Min	Ср	Max	Min	Ср	Max
Проволочный	86	24,3	66,2	180	1	7,5	40,1	5	20,8	70	68	42	81,5	140	1,3	17,1	140
Проволочный с гравийной обсыпкой	23	28	66,6	130	1,1	8,4	20	5	18,5	68	148	16,8	87	165	1,87	23,6	260
Сетчатый	41	5	59,9	127	1,2	8,5	20	7	26,1	60	8	35	67,5	100	1,8	6,6	12
Каркасно-стержневой	6	12	71,7	120	1,2	13,4	40	6	25,3	49	7	-	-	-	2,2	16,3	45
Каркасно-стержневой с гравийной обсыпкой	6	18	60,5	108	2,7	12,7	30,8	6	29,3	46,6	6	50	84,8	120	3,7	13,7	20
Щелевой	5	20	37,6	50	2,5	3,3	4,5	5	13,6	21	3	-	48	-	4,4	9	15,8

Тип фильтра	Группа В			Группа Д									
	t			n	Q, м <sup>3</sup> /ч			q, м <sup>3</sup> /ч·м			t		
	Min	Ср	Max		Min	Ср	Max	Min	Ср	Max	Min	Ср	Max
Проволочный	19	34,8	45	1	-	-	-	-	6,3	-	-	32	-
Проволочный с гравийной обсыпкой	6	22,2	37	42	-	-	-	1,5	32,3	100	5	13,1	42
Сетчатый	33	43	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каркасно-стержневой	18	26,1	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каркасно-стержневой с гравийной обсыпкой	20	22,3	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Щелевой	32	37	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: n- число скважин; Q- дебит скважины; q- удельный дебит; t- долговечность скважин, годы;

Из 49 скважин, оборудованных сетчатыми фильтрами, 41 полностью вышли из строя в среднем через 26,1 года, в 8 требовался ремонт и их средний возраст составляет 43 года (табл. 3.2). Восемь действующих скважин, оборудованных сетчатыми фильтрами, имеют фактический удельный дебит от 1,5 до 9 м<sup>3</sup>/ч·м, что в среднем составляет 5,4 м<sup>3</sup>/ч·м.

Проволочные фильтры действующих скважин состоят из перфорированной трубы диаметром 12–14 дюймов, с проходными отверстиями в количестве от 656 до 1000 с диаметром отверстий 16–22 мм, стальной нержавеющей проволоки диаметром 3 мм с шагом намотки 0,5–2 мм.

Из 154 скважин, оборудованных проволочными фильтрами, 86 полностью вышли из строя в среднем через 20,8 года, для 68 скважин требовался ремонт при их среднем возрасте 34,8 года, и только 1 скважина работает без ремонтов 32 года (табл. 3.2).

Проволочные с гравийной обсыпкой фильтры, в настоящее время, получили более широкое распространение, поскольку имеют простую конструкцию, минимальные гидравлические сопротивления и высокую коррозионную стойкость. Благодаря хорошей прочности, эти фильтры весьма устойчивы при восстановлении дебита скважин с помощью кислотных обработок, а также электрогидравлического удара [6].

Из 213 скважин, оборудованных проволочными фильтрами с гравийной обсыпкой, 23 полностью вышли из строя в среднем через 18,5 года, для 148 скважин требовался ремонт через 22,2 года, а 42 скважины работают без ремонтов 13,1 года (табл. 3.2).

Каркасно-стержневые фильтры по сравнению с проволочными и сетчатыми имеют большую скважность, поэтому первоначальный удельный дебит ликвидированных скважин с такими фильтрами изменялся от 12,7 до 13,4 м<sup>3</sup>/ч·м, а у действующих после ремонта изменяется от 13,7 до 16,3 м<sup>3</sup>/ч·м (табл. 3.2).

Согласно проанализированным данным, основными причинами выхода из строя скважин являются кольматация и пескование фильтров. В результате пескования наблюдался износ насосного оборудования.

Способ сбора материалов вносит в полученные результаты определенный субъективизм, поскольку достоверная информация дается преимущественно по действующим скважинам. Наиболее объективной оценкой следует считать показатель средней долговечности действующих скважин, а также причины выхода скважин из строя.

**Способ установки фильтров** в большей степени связаны со способом бурения скважины. При бурении ударно-канатными станками фильтры устанавливаются под защитой обсадных колонн, поэтому такие скважины имеют меньшую интенсивность старения по сравнению со скважинами, пробуренными роторными станками (табл. 4.1). Роторный способ бурения с промывкой забоя глинистым раствором является трудным и негативно сказывается на дальнейшей работе скважины. Циркулируя, глинистый раствор проникает в водовмещающие породы и тем самым забивает поры водоноса, что уменьшает пористость пород, и следовательно, искусственно занижает удельные дебиты скважин. В процессе эксплуатации таких скважин нередко бывают случаи, когда после очередного

ремонта происходит превышение удельного дебита по сравнению с первоначальным. Поэтому непосредственно после бурения скважины необходимо, для разглинизации водоносного горизонта, произвести ряд восстановительных мероприятий, исключаящих использования импульсных методов, так как сила воздействия таких методов будет направлена в ту же сторону что и сила при бурении скважины, которая привела к образованию глинистой пробки. Даже при бурении скважины с применением обратной промывки чистой водой не гарантирует успешной ее работы. Так как циркулирующая вода, поступающая из зумпфа, будет увлекать за собой глинистые частицы водоупора, и осаждают их в порах водовмещающих пород. Оптимальным случаем при бурении скважин является использование чистой воды, поступающей из водопроводной сети. Образование глинистой корки во время бурения происходит интенсивно при ударно-канатном способе бурения, так как желонка с огромной силой ударяет о водовмещающие породы, тем самым создается сила противодействия, которая превышает силу давления воды со стороны водоносного горизонта. При роторном способе бурения эта сила тем больше чем больше статический уровень в скважине, и поэтому условия образования глинистой корки являются менее благоприятными. Однако при бурении роторным способом с применением эрлифта происходит интенсивное обогащение кислородом подземной воды, что приводит к образованию осадков в виде гидроокислов железа и других соединений, содержащих кислород, которые создают дополнительные гидравлические сопротивления в прифильтовой зоне скважины.

***Способы и сроки освоения скважин.*** По окончании бурения в скважинах производится откачка. Как правило, при этих откачках происходит пескование, что вынуждает буровые организации применять эрлифты с низким коэффициентом полезного действия и с небольшой производительностью. Рекомендации о прокачке скважин с дебитом, превышающим на 20 – 50 % будущий эксплуатационный, как правило, не выполняются. поэтому в начальный период эксплуатации возникает пескование, занос рабочей части фильтра породой, а также износ насосного оборудования [6].

Оставленный после бурения глинистый раствор после бурения за контуром фильтра цементирует породы и гравийные обсыпки и уплотняет их тем больше, чем больше время между установкой фильтра и его прокачкой. В практике работ известны случаи, когда прокачки скважин после бурения проводились с перерывом с течение месяца и более и это приводило к малой дебитности. В таких скважинах применение различных способов интенсификации – повторной прокачки, свабирования, подрыва торпед – не восстанавливало проницаемости, соответствующей гранулометрическому составу пород водоносного горизонта. Из сказанного следует, что нельзя допускать разрыв между бурением и прокачкой скважин [6].

При освоении скважин, пробуренных ударным способом или роторным с обратной промывкой, необходимо строго соблюдать режим откачек. Чтобы за контуром образовывался естественный фильтр из частиц гравия или песка по принципу обратного фильтра (с переходом от крупных частиц к мелким), необходимо начинать откачку с малых дебитов и малых понижений уровня, при которых будет происходить отсос мелких частиц. Если начинать откачку с максимальных расходов, в поток будут увлекаться как мелкие, так и крупные частицы, что неизбежно приведет к уплотнению пород за фильтром. Как показал опыт, такая механическая заклинка пород представляет необратимый процесс, в результате которого резко снижается производительность скважин, и она не может быть восстановлена ни одним из существующих методов [6].

Несмотря на использование прогрессивных способов бурения, которые позволяют избежать глинизацию зоны водоотбора, наблюдается общее снижение срока эксплуатации ликвидированных скважин г. Минска, пробуренных с 1930 г. по 1995 годы (рис. 3.6).

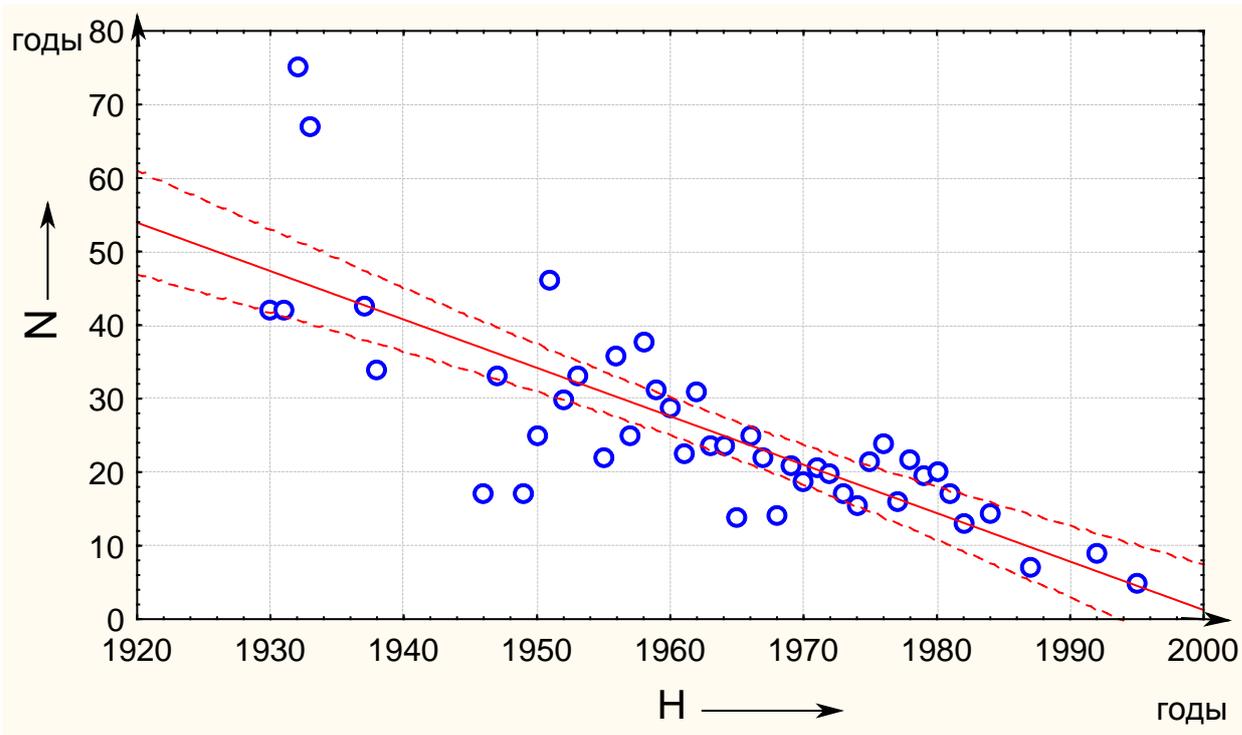


Рис. 3.6 График зависимости долговечности скважин от года их бурения.

Одной из причин уменьшения долговечности таких скважин является несоблюдение режима эксплуатации, связанного с ритмичной работой отдельных скважин, а также с неправильным подбором насосного оборудования. При этом повышаются нагрузки на фильтровую часть скважины, приводящие к уплотнению гравийной обсыпки, пескованию и интенсификации процесса химического коагулянта [6].

Идеальным случаем считается непрерывная работа скважины, когда устанавливается динамическое равновесие между притоком и отбором воды. Периодический отбор воды, связанным с частым включением и отключением насосов, может также приводить к гидравлическому удару, который отражается не только на насосном оборудовании, но и на прифильтровой зоне скважин. Это может приводить к уплотнению и разрушению гравийных обсыпок [6].

Профилактический осмотр скважин – залог успешной и бесперебойной эксплуатации скважин. Он должен проводиться на основе первичных и достоверных данных по сооружению скважины. Вначале при исправном насосном оборудовании проводится прокачка скважины при двух – трех ступенях понижения, когда замеряют дебит и понижения уровня.

При нормальной эксплуатации один раз в течение года проверяется состояние забоя скважины и в случае заноса рабочей части фильтра он очищается от песчаной пробки.

Таким образом, продолжительность работы скважины зависит от ряда факторов, нарушение которых приводит к преждевременному выходу скважин из строя.

На основании выше изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. Основными причинами снижения долговечности скважин являются химический кольматаж и пескование скважин, вследствие нарушения гидрохимического равновесия, деятельности бактерий и несоблюдения режима эксплуатации.
2. Наиболее эффективным способом борьбы с химическим кольматажем является сооружение скважин с высокими первоначальными удельными дебитами.
3. Основным средством борьбы с пескованием скважин является гравийная обсыпка фильтров соответствующих толщины и гранулометрического состава.
4. Прогрессивными способами бурения скважин можно считать ударно-канатный (станок УКС - 22 м) и роторный с обратной промывкой забоя чистой водой (станки ФА – 12, УРБ – 3АМ и др.).
5. Конструкция фильтра впопай является наилучшей конструкцией повышающей срок эксплуатации скважины.
6. Правильный режим эксплуатации и проведения ремонтных мероприятий обеспечивает скважине поддержание эксплуатационных характеристик и долговечность.

### 3.2. Импульсные методы

В основе импульсных методов лежит воздействие на кольматирующие образования ударных волн и созданных ими высокоскоростных гидродинамических потоков. Арсенал технических средств, способных создать гидроимпульсное воздействие на фильтровую часть скважины, широк. К ним относятся: взрыв торпеды тротилового детонирующего шнура (ТДШ), взрыв газовой смеси, пневмоимпульс, высоковольтный электрический разряд и др. Источником создания упругих гидродинамических воздействий может быть вибрация и ультразвук [22].

При различных способах создания гидроудара его физическое воздействие на фильтр оказывается практически одинаковым. Применение электрогидравлического способа регенерации (ЭГ способ), например, позволяет создать в фильтровой части скважины ударную волну, которая ударяется от канала разряда со скоростью, превышающей скорость звука. По мере удаления от разрядника основные параметры ударной волны (давление, скорость и др.) уменьшаются. Продукты кольматации разрушаются и диспергируются под действием ударной волны и гидродинамического потока, образующихся в водной среде. Импульсное воздействие ударной волны в скважине может значительно возрастать за счет ее отражения от жестких участков внутренней поверхности фильтра. в результате дифракции и взаимодействия отраженных ударных волн происходит более эффективное разрушение цемента обрастания как непосредственно на фильтрующей поверхности, так и в прифильтровой зоне [22].

В последнее время предложен ряд импульсных методов, где в качестве энергоносителя применяются газообразные взрывчатые вещества. Перспективным является газодинамическая установка на основе водорода. Использование в качестве энергоносителя водорода, получаемого вместе с окислителем непосредственно в зоне фильтра за счет электролиза воды, позволяет обеспечивать многократное применение установки без ее подъема для перезарядки. Сжигание смеси приводит к получению начальных продуктов реакции в их прежнем объеме, что, помимо гидроимпульсного, создает вторичный имплозионный эффект [22].

Использование импульсных методов регенерации обеспечивает достаточно полное механическое разрушение кольматирующих осадков и их частичный вынос. Неудаленные частицы разрушенных образований являются катализатором процесса кольматажа (в частности за счет способности гидроокислов железа адсорбировать различные элементы). Поэтому процесс «старения» водозаборных скважин, обработанных гидроимпульсными способами, протекает значительно интенсивнее, чем у новых водозаборных сооружений или восстановленных реагентными методами.

### 3.3. Реагентные методы

Структура и характер отложений цементированных пород в зоне установки фильтров подтверждают, что все механические и гидромеханические способы очистки фильтров через ствол не могут удалить осадки на его внешней поверхности и в зоне прилегающих пород. Применение взрывного способа также малоэффективно, поскольку при взрыве растрескиваются зацементированные зоны, образуются микротрещины без нарушения связи химических осадков с частицами горных пород [6].

Наиболее эффективно в таких случаях воздействие химических реагентов на зацементированные фильтры и прифильтровые зоны и, в частности, соляной, уксусной, сульфаминовой кислот, в также полифосфатов или их смесей с различными добавками.

**Методы кислотной обработки.** Выбор метода кислотной обработки скважин зависит от конструкции фильтров, химического состава отложений и др. В настоящее время применяются два основных метода: кислотная ванна и задавливание кислоты за контур фильтра сжатым воздухом. Метод кислотной ванны заключается в том, что в скважину по трубкам заливают реагент, который под влиянием большой плотности и процессов диффузии проникает за контур фильтра и растворяет осадки. При этом способе обработки необходимо учитывать диаметр фильтра, его длину и размер зоны кольматажа. Метод задавливание кислоты сжатым воздухом более эффективен по сравнению с кислотной ванной, так как кислота доставляется в пласт под давлением сжатого воздуха, подаваемого от компрессора. После нагнетания воздуха компрессор отключается и раствор, отжатый за контур, возвращается в фильтр скважины, где смешиваясь с кислотой, не вошедшей в реакцию, повышает свою концентрацию. Интервал между циклами по задавливанию кислоты за контур принимается 5 – 10 мин [6].

Для очистки фильтров в качестве основного растворителя применяют техническую соляную кислоту, под воздействием которой соли переходят в растворимое состояние по следующим уравнениям:



Образующиеся в результате указанных реакций растворенные продукты и газы удаляются из скважины при последующей откачке. Для промывки фильтров используется техническая соляная кислота концентрацией от 18 до 35,2 %.

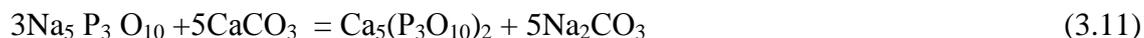
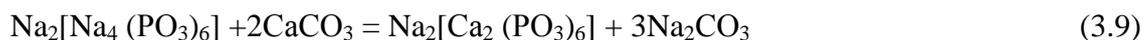
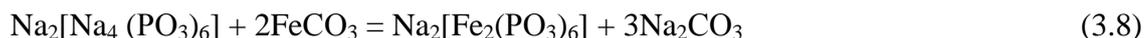
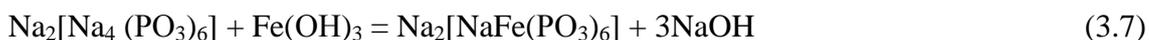
При обработке скважин соляной кислотой и растворении железистых соединений происходит нейтрализация соляной кислоты. Когда концентрация в растворе водородных ионов  $pH < 4,5$ , трехвалентное железо  $Fe(OH)_3$  находится в растворе, но при увеличении  $pH$  железо будет коагулировать, переходить в осадок и откладываться в порах прилежащих к фильтру пород. Для предупреждения этих явлений в раствор добавляется 0,5 – 0,8 % триполифосфата в качестве стабилизирующей добавки. В результате порог коагуляции железа сдвигается с  $pH = 6,5-6,8$  до  $pH = 10,6-12,95$ , откуда следует, что выпадение  $Fe(OH)_3$  в осадок может происходить только в щелочной среде, что практически в подземных водах не бывает.

Обрабатывать скважины соляной кислотой необходимо при соблюдении правил техники безопасности, так как несоблюдение их может привести к тяжелому отравлению. Отравление может наступать не только вследствие вдыхания паров соляной кислоты, но и под действием других газов, в частности сероводорода, который может выделяться из воды при растворении сульфидных соединений в процессе обработки скважин соляной кислотой. Соляная кислота является ядовитой жидкостью. Попадание концентрированной кислоты на кожу вызывает ожоги, а вдыхание ее паров – удушье и отравление. Все соединительные узлы монтажной схемы должны быть герметичными, не допускающими утечек. Трубу для выпуска воздуха и газов из скважины необходимо выводить в подветренную сторону. Кислоту для залива должны готовить рабочие, одетые в специальные резиновые или шерстяные костюмы, резиновые сапоги, перчатки и противогазы [6].

**Полифосфатные обработки.** Растворяющее воздействие соляной кислоты на осадки часто сопровождается выделением газов  $H_2S$  и  $CO_2$ , которые требуют строгих правил по технике безопасности.

Гравий может растворяться под действием кислот, что будет приводить к его просадке и вызывать пескование скважины. Большие неудобства связаны также с транспортными перевозками и хранением соляной кислоты.

Указанные выше причины привели к необходимости поисков других химических реагентов. Для регенерации скважин с этой целью применяются соли фосфорной кислоты двух видов: гексаметафосфат натрия  $Na_2[Na_4(PO_3)_6]$  и триполифосфат натрия  $Na_5P_3O_{10}$ . Воздействие этих солей на железистые и карбонатные соединения представлены следующими уравнениями [6]:



Для восстановления дебита скважин полифосфаты могут быть более успешно использованы в двух вариантах: в качестве монореагента и в качестве добавки к соляной кислоте для стабилизации, предупреждающей выпадения железа в осадок при кислотных обработках.

При содержании 7 % триполифосфата в водном растворе растворяется до 32 % железистого колматанта и максимальная концентрация триполифосфата натрия находится в пределах 8 – 12 %. Триполифосфат натрия представляет собой порошок белого цвета, хорошо растворимый в воде и кислотах. Раствор триполифосфата может приготавливаться как на поверхности, так и непосредственно в скважине.

### 3.4. Комбинированные методы

В процессе отложения осадков в прифилтровой зоне с течением времени наблюдается их уплотнение и изменение их кристаллической структуры, что влияет на растворение осадков при воздействии на них кислот. В некоторых гидрохимических условиях наряду с гидроокисью железа и карбоната кальция выпадают соли кремнекислоты, которые могут создавать достаточно плотные конгломератнообразные структуры, препятствующие воздействию кислоты на осадки [6].

В этих случаях для увеличения поверхности контакта кислоты с цементирующими осадками и обеспечения более глубокого проникновения кислоты за контур скважин целесообразно перед началом кислотных обработок разрушить структуру осадков.

Импульсно-реагентные методы сочетают импульсное воздействие с последующей или одновременной реагентной обработкой. При этом различают виброреагентную регенерацию, сочетающую импульсное вибрационное воздействие с реагентами и проведение дискретного импульса с реагентной обработкой.

Однако, относительно низкие значения гидродинамических давлений, на превышающих 0,2 – 0,3 МПа, не позволяют существенно расширить область применения виброреагентной обработки в сравнении с циклической. Но степень удаления кольматанта из прифилтровой зоны скважины при виброреагентной обработке возрастает и возможно достижение практически первоначального удельного дебита скважины в случае, если длительность ее эксплуатации до обработки не превышает 3 – 5 лет. В длительно работавших водозаборных скважинах более предпочтительно сочетание интенсивной импульсной и реагентной обработки [23].

### 3.5. Опыт восстановления фильтров скважин различными методами в Беларуси

На объектах водоснабжения республики практическое применение получили взрывной, электрогидравлический (ЭГ), пневмоимпульсный и солянокислотный метод регенерации фильтров и прифильтровой зоны скважины.

На скважинах, эксплуатирующие водоносные горизонты, представленные породами с высокофильтрационными свойствами (гравийно-галечными отложениями, крупнозернистыми песками и др.), применение импульсных и реагентных обработок позволяет достичь восстановление производительности на 90–100% [16,17,18].

Использование указанных методов на скважинах, эксплуатационные водоносные горизонты которых представлены мелкозернистыми песками, алевритовыми породами, приводит, как правило, к восстановлению производительности на 65-80 %. Химический состав водовмещающих пород подземных вод и генетическая стадия формирования кольматирующих образований оказывают определяющее влияние на эффективности применения реагентных методов.

Анализ материалов по восстановлению производительности водозаборных скважин показывает, что с увеличением диаметров фильтров возрастает эффективность применения импульсных и реагентных методов. Для фильтров диаметром 4 дюйма достигается восстановление производительности в среднем на 69 % от первоначальной; для фильтров диаметром 5, 6 и 8 дюймов производительности восстанавливается соответственно на 72, 91 и 95 %. Сравнительный анализ эффективности различных способов регенерации показывает, что наиболее перспективным направлением в области восстановления производительности водозаборных скважин является реагентная обработка. К преимуществам химических методов регенерации следует также отнести их универсальность, экономичность, техническую простоту исполнения [16,17,18].

Результаты обработок ЭГ способом носят разноречивый характер. Удельный дебит при обработке методом ЭГ достигает 90 % первоначального дебита. Повторную обработку следует проводить через 8-7 месяцев. Однако опыт показывает, что при значительном рабочем напряжении равном 20 кВ, величина давления в зоне расположения разрядника на превышает 4-6 МПа, а с увеличением глубины скважины возможности создания даже таких давлений практически исключается.

Пневмовзрывная регенерация скважин является наиболее простой и доступной с широким интервалом регулирования величины давления. Механизм пневмовзрывного воздействия следующий: предвзвешенно накопленный в камере сжатый воздух с большой скоростью выхлопывается в жидкость, в результате чего образуется воздушный пузырь.

Резкое сжатие прилегающих слоев жидкости приводит к распространению в ней акустических волн сжатия и одновременному радиально расходящемуся движению гидропотока. Экспериментальные и производственные исследования пенвмовзрывной обработки водозаборных скважин показали, что в зависимости от гидрологических условий и времени эксплуатации скважин до регенерации возможно восстановление удельного дебита в пределах от 20 до 70 % от первоначального. Длительности сохранения удельной производительности после обработки колеблется от двух до одного года. Максимальные сроки характерны для скважин, оборудованных каркасно-стержневыми фильтрами и провальных фильтрами на трубчатых каркасах [16,17,18].

Для установления эффективности применения импульсных и реагентных методов регенерации для г. Минска, были проанализированы 160 скважин, находящихся в различных гидрологических, геологических условиях. Самым распространенным способом восстановления удельного дебита скважин является ЭГ способ. Почти каждая скважина, подвергавшаяся ремонту, неоднократно воспринимала воздействие энергии, выделяемой при прохождении электрического тока большого напряжения через разрядник. При этом взрыве образуется сложная газообразная система – разрядная плазма с температурой порядка  $(1,5 - 2,5) \cdot 10^4$  К [25]. По мере разогрева плазмы происходит быстрое повышение давления и увеличение скорости, что способствует образованию ударной волны. Энергия ударной волны состоит из потенциальной энергии жидкости и кинетической энергии частиц, которые примерно равны между собой. По мере удаления ударной волны образуется парогазовая полость, которая расширяется до тех пор пока внутреннее давление полости будет меньше гидростатического. При дальнейшем распространении ударной волны потенциальная энергия жидкости, определяемая давлением «р», будет переходить в кинетическую энергию движения частиц жидкости с созданием гидропотока [25].

При кольматации фильтров прочными конгломератовидными осадками под действием ударной нагрузки и колебательных процессов в них возникает волна напряжения и создаются растягивающие усилия, в результате чего в осадках образуются трещины, они раскалываются и диспергируются.

Основным критерием процесса разрушения кольматирующих осадков ЭГ-способом является первичная волна сжатия и эффективность очистки фильтра определяется максимальным давлением на фронте ударной волны. Поэтому при подборе параметров очистки ЭГ-способом необходимо учитывать все факторы, определяющее давление ударной волны, в том числе и гидростатическое давление на фильтры и содержание солей в подземных водах [25].

Для расчета эффективности восстановления ЭГ способом были вычислены величины «а» и «d» (табл. 3.3), для различных геологических условий, методах бурения и типов применяемых фильтров, а также при первичном и вторичном применении ЭГ установки.

Эффективность применения ЭГ-способа для скважин г. Минска

Таблица 3.3

Водоносный горизонт	Днепровско - сожский						Верхнепротерозойский
Метод бурения	Роторный	Роторный	Ударно-канатный	Ударно-канатный	Ударно-канатный	Ударно-канатный	Роторный
Тип фильтра	Проволочный с грав. обсыпкой	Проволочный	Проволочный с грав. обсыпкой	Проволочный	Сетчатый	Каркасно-стержнев. с гр.обсыпкой	Проволочный
Возраст скважины до проведения 1-го ремонта, лет	Коэффициент $\alpha$ / значение $d$ / количество скважин						
0-5	27/51/5	-	5/47/1	-	-	4/58/1	-
5-10	22/54/21	-	27/54/6	7/45/2	-	31/57/6	-
10-15	18/56/13	4/53/1	17/45/22	19/53/10	8/52/2	23/53/2	-
15-20	25/52/9	12/72/5	15/45/7	16/52/7	3/73/1	-	31/284/2
20-30	14/44/3	-	22/52/3	25/61/11	18/56/1	-	17/268/5
Средние значения $\alpha$ / величины $d$							
	21,2/51,4	8/62,5	17,2/48,6	16,8/52,8	9,7/60,3	19,3/56	24/50
Возраст скважины до проведения 2-го ремонта, лет	Коэффициент $\alpha$ / значение $d$ / количество скважин						
0-5	-	-	-	-	-	-	-
5-10	8/55/3	-	-	-	-	-	-
10-15	16/52/6	-	17/52/8	15/48/4	-	-	-
15-20	20/50/4	4/106/1	18/42/7	17/45/7	-	-	-
20-30	10/48/4	-	17/50/5	26/58/13	14/56/1	-	50/282/1
Средние значения $\alpha$ / величины $d$							
	13,5/51,3	4/106	17,3/48	19,3/50,3	14/56	-	50/282

Параметр «d» учитывает влияние гидростатического давления на ЭГ способ и равняется разнице между статическим уровнем воды в скважине и ее глубины, т. е.  $d = H_{ст} - H_{скв.}$

$\alpha$  – коэффициент эффективности восстановления по отношению к первоначальному удельному дебиту  $q_0$ . Определяется  $\alpha$  по формуле:

$$\alpha = (q_n - q_r) / q_0 \cdot 100 \% \quad (3.13)$$

Где  $q_n$  - удельный дебит скважины после очистки скважины ЭГ способом;

$q_r$  - удельный дебит скважины до очистки скважины ЭГ способом.

В результате анализа установлено, что наибольшую эффективность восстановления, при проведении ремонтных мероприятий впервые, имеют скважины, оборудованные проволочными и каркасно-стержневыми с гравийными обсыпками фильтрами (табл. 3.3). Высокое значение параметра « $\alpha$ » для скважин, пробуренных на верхний протерозой объясняется тем, что эти скважины были пробурены на небольшие первоначальные удельные дебиты, не превышающие  $10 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$ , и поэтому небольшие приращения удельного дебита после ремонта, по отношению к первоначальному, определяли значение « $\alpha$ ».

Наименьшая эффективность восстановления ЭГ-способом наблюдается у скважин, оборудованных сетчатыми и проволочными фильтрами, которые капируют воды из днепровско-сожского водоносного горизонта (табл. 3.3). Низкая восстановительная способность сетчатых и проволочных фильтров по сравнению с проволочными и каркасно-стержневыми с гравийной обсыпкой фильтрами объясняется тем, что ударная волна благодаря большой скважности последних проникает в прифильтровую зону и разрушает кольматант, и разрушенные частицы инкрустации частично выносятся гидропотокком, а также и тем, что сетчатые и проволочные фильтры подвергались очистке при больших значениях параметра  $d$ , равным в среднем  $62,5 \text{ м}$  и  $60,3 \text{ м}$  соответственно (табл. 3.3).

Вторичное применение ЭГ способа показывает, что эффективность его применения может снижаться (для проволочных и сетчатых фильтров) а может возрастать (для проволочных и каркасно-стержневых с гравийными обсыпками фильтров) (табл. 3.3). Такое явление связано, по-видимому с тем, что в период проведения первого восстановительного ремонта на скважинах, оборудованных сетчатыми и проволочными фильтрами вследствие характера кольматации и конструкции самого фильтра (низкая скважность) не удается произвести вынос гидропотокком цементированной инкрустации, а только разрушить на стенках фильтра часть скольматированной корки. В последующие ремонты происходит более тщательное хрупкое и пластичное разрушение оставшегося кольматанта и проникновение гидропотокка за стенки фильтра непосредственно в прифильтровую зону, что увеличивает вероятность выноса продуктов кольматажа. Это объясняет тот факт, что эффективность восстановления в первые годы эксплуатации для сетчатых и проволочных фильтров оставалась на низком уровне по сравнению с периодом эксплуатации 20-30 лет (табл. 3.3).

В меньшей степени скважины г. Минска подвергались кислотным, газозрывным и комбинированным методам восстановления.

Эффективность восстановления кислотными обработками для 6 скважин в среднем равняется 39 % (табл. 3.4).

Эффективность восстановления скважин кислотными обработками Таблица 3.4

$\alpha$	Возраст скважины до проведения ремонта, лет	Метод бурения	Тип фильтра	Количество скважин
27	9	Роторный	Проволочный с грав. обсыпкой	1
45	22	Роторный	Проволочный	1
35	9	Ударно-канатный	Каркасно-стержнев. с гр.обсыпкой	1
45	9	Ударно-канатный	Каркасно-стержнев. с гр.обсыпкой	1
57	10	Ударно-канатный	Каркасно-стержнев. с гр.обсыпкой	1
23	11	Ударно-канатный	Проволочный с грав. обсыпкой	1

Наибольшее значение параметра « $\alpha$ » наблюдается у скважин, оборудованных проволочными и каркасно-стержневыми с гравийными обсыпками фильтрами, пробуренных ударно-канатным методом. Благодаря большой скважности, кислота беспрепятственно проникает в прифильтровую область и эффективно растворяет кольматант, и при последующей откачке растворенные продукты химической реакции удаляются из скважины.

Газозрывным способом было регенерировано только 4 скважины (табл. 3.5). Средняя эффективность восстановления составляет 15 %.

Эффективность восстановления скважин газозрывным способом Таблица 3.5

$\alpha$	Возраст скважины до проведения ремонта, лет	Метод бурения	Тип фильтра	d	Количество скважин
18	10	Ударно-канатный	Проволочный с грав. обсыпкой	30	1
11	12	Ударно-канатный	Проволочный	61	1
20	8	Роторный	Проволочный с грав. обсыпкой	45	1
11	14	Ударно-канатный	Проволочный	49	1

Наибольшую эффективность восстановления имеют скважины, оборудованные проволочными с гравийной обсыпкой фильтрами, при значениях «d» равных 30 м и 45 м соответственно.

При обработке скважин импульсно-реагентными методами, наблюдается значительное повышение эффективности восстановления, при котором параметр « $\alpha$ » в среднем равняется 37 % (табл. 3.6).

Эффективность восстановления скважин комбинированным методом Таблица 3.6

α	Возраст скважины до проведения ремонта, лет	Метод бурения	Тип фильтра	d	Количество скважин
28	5-10	Роторный	Проволочный с грав. обсыпкой	63	1
23	0-5	Ударно-канатный	Проволочный с грав. обсыпкой	36	1
32	5-10	Ударно-канатный	Проволочный с грав. обсыпкой	50	3
37	5-10	Ударно-канатный	Проволочный	51	2
37	10-15	Ударно-канатный	Проволочный	55	2
66	15-20	Роторный	Проволочный	275	2

Характерная особенность этого метода заключается в том, что эффективность восстановления проволочных фильтров немного выше, чем проволочных с гравийной обсыпкой. Следовательно сочетание импульсных и реагентных методов дает эффект восстановления независимо от статического уровня воды в скважине и типов применяемых фильтров. Это очень важное преимущество при очистке сетчатых и проволочных фильтров установленных на большой глубине. Под действием импульсных нагрузок образуются трещины в кольматанте и при помощи гидротока частичное его удаление. Далее в реакцию вступает реагент, который окончательно растворяет кольматант и с последующей откачкой растворенные продукты уносятся из скважины. Такой метод эффективен в скважинах, которые не подвергались ремонту более 10 лет (табл. 3.6). Однако следует следить за состоянием, как самого фильтра, так и скважины в целом, так как сочетание импульсных и реагентных нагрузок может привести к дальнейшей эксплуатационной непригодности скважины.

Из анализа применения методов восстановления дебитов скважин можно сделать следующие выводы:

- 1) Применение ЭГ-способа эффективно в скважинах, оборудованных фильтрами с большой скважностью (проволочный и каркасно-стержневой с гравийными обсыпками) установленными на небольшой глубине. Рекомендуется применять ЭГ способ в начальный период эксплуатации скважины или в комплексе с реагентными методами, так как ЭГ способ в большинстве случаев не удаляет кольматант, а только его разрушает. Не рекомендуется использовать ЭГ способ при очистке скважины от глинистых частиц после сооружения новой скважины, поскольку сила ударной волны направлена в сторону фильтровой зоны скважины, что еще больше уплотнит остатки бурового раствора. Эффективность восстановления скважин г. Минска в среднем составляет 17 %.

- 2) Кислотные обработки (с применением соляной кислоты) также эффективны при восстановлении фильтров большой скважности, но не зависят от глубины установки фильтра. Концентрация соляной кислоты колеблется от 18 до 35 % в зависимости от степени кольматации и состояния фильтра. Для стабилизации процесса вторичного осадкообразования и защиты стальных конструкций от коррозионного воздействия кислоты рекомендуется параллельно применять 0,5-0,8 % раствор триполифосфата натрия. Кислотные обработки эффективно растворяют кольматант и очищают фильтр и прифильровую зону от инкрустации, что подтверждается эффективностью восстановления для г. Минска, которая в среднем равняется 39 %. При проведении восстановительных работ необходимо строго выполнять требования техники безопасности и охраны труда.
- 3) Газовзрывной способ эффективно выносит разрушившийся кольматант под действием создаваемого вакуума и тем самым создает условия для нормальной работы скважины. Эффективность восстановления для 4-х скважин г. Минска составляет 15 %. Способ имеет лучшие показатели восстановления удельного дебита при очистке фильтров с высокой скважностью и находящихся под небольшим гидростатическим давлением.
- 4) Сочетание импульсного и реагентного методов дает наилучшие результаты при восстановительных ремонтах, так как эффективность восстановления практически не зависит от гидростатического столба воды в скважине и от типа применяемого фильтра, а только от количества и состояния самого фильтра и кольматанта. Под действием импульсных нагрузок водонепроницаемые структуры кольматанта разрушаются, создаются дополнительные трещины, увеличивается контакт кислоты с цементирующими осадками, более глубоко проникает кислота за контур фильтра, благодаря чему возрастает степень растворения солевых соединений. Это способствует более эффективному восстановлению структуры, пористости и проницаемости прилегающих к фильтру пород и увеличению срока эксплуатации скважин. Эффективность восстановления дебита скважин для г. Минска составляет в среднем 37 % без значительных колебаний значения параметра « $\alpha$ ». Комбинированные способы очистки имеют неоспоримые преимущества при восстановлении дебита скважин, которые не подвергались ремонтным мероприятиям в течение 10 и более лет. В Беларуси этот метод является доминирующим для поддержания дебитов скважин и продления срока службы скважин находящихся в различных природных условиях.

### 3.6. Расчет экономической годовой эффективности

Расчет годового экономического эффекта от совместного применения газодинамического и виброимпульсного способов восстановления дебита скважин выполнялся в соответствии с «Инструкцией по оценке эффективности использования в народном хозяйстве республики результатов научно-исследовательских и опытно-технологических работ», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18.05.2002 г. № 637.

На скважинах № 0 и № 16 водозабора «Дражня» в мае – июне 2002 г. производились работы по декольматации фильтров газодинамическим способом и был достигнут прирост удельного дебита и производительности скважин. В апреле 2003 г. производились повторные замеры удельного дебита, которые подтвердили устойчивость эффекта регенерации.

Данные гидравлических испытаний скважин представлены в таблице 3.7.

Эффективность восстановительных работ

Таблица 3.7

№ скважины	Производительность, м <sup>3</sup> /ч		Прирост динамического уровня, м	Прирост производительности, ΔQ, м <sup>3</sup> /ч	Затраты на ремонт скважин, З <sub>Т</sub> , руб
	Удельный дебит, м <sup>3</sup> /ч·м				
	До восстановления	После восстановления			
0 «Дражня»	59/2,61	78/10	14,8	19	750000
16 «Дражня»	118/15,5	136/36,7	3,9	18	750000
ИТОГО			18,7	37	1500000

Экономический эффект (Э) от совместного использования газодинамического и виброимпульсного способов восстановления дебита скважин согласно «Инструкции по оценке эффективности использования в народном хозяйстве республики результатов научно-исследовательских и опытно-технологических работ» определяется по формуле:  $\text{Э} = P_T - Z_T$

Где  $P_T$  - стоимостная оценка результатов использования разработки за расчетный период, выраженная в стоимости электроэнергии сэкономленной за счет прироста динамического уровня,  $P_T = V \cdot C$ ;

$Z_T = Z_{T1} + Z_{T2}$  – стоимостная оценка издержек на проведения работ  $Z_{T1}$  (табл. 3.7) и затрат на добычу и транспортировку дополнительной воды  $Z_{T2}$ .

Где  $Z_{T2} = V \cdot q \cdot \Phi$ ;

$V$  – количество воды дополнительно добытой за 1 год.  $V = \Delta Q \cdot t \cdot n \cdot k$ .

$\Delta Q$  – общий прирост производительности всех скважин  $\Delta Q = 34 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ;

$t$  - плановое число часов работы погружных насосов в сутки,  $t = 24 \text{ ч}$ ;

$n$  - расчетное число дней в году,  $n = 365$ ;

$k$  - коэффициент стабильности работы скважин в течение года,  $k = 0,85$ ;

$\Phi$  - стоимость электроэнергии,  $\Phi = 64,3 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$ ;

$q$  - удельный расход электроэнергии на подачу  $1 \text{ м}^3$  воды потребителю,  $q = 0,51 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3$  ;

$C$  – среднесуточная стоимость реализации  $1 \text{ м}^3$  воды определялась по данным УП «Минскводоканал» из расчета что 80 % потребителей воды являются физические лица, для которых стоимость воды на 1 мая 2002 г. и на 1 июня 2003 г. составляла соответственно 66,5 руб и 113,4 руб, а средняя за период составляла  $C_{\phi} = (66,5 + 113,4)/2 = 90 \text{ руб}$ , оставшиеся 20 % потребителей воды юридические лица со стоимостью воды 432 руб (1 мая 2002 г.) и 520 руб (1 июня 2003 г.) и средней стоимостью за этот период  $C_{\text{ю}} = (432 + 520)/2 = 476 \text{ руб}$ ; окончательно  $C = 0,2 \cdot C_{\text{ю}} + 0,8 \cdot C_{\phi} = 0,2 \cdot 476 + 0,8 \cdot 90 = 167 \text{ руб}$ ;

Тогда годовой экономический эффект составит  $\mathcal{E}_{\text{год}} = V \cdot C - V \cdot q \cdot \Phi - Z_{\text{ТГ}} = 275502 \cdot 167 - 275502 \cdot 0,51 \cdot 64,3 - 1500000 = 35474297 \text{ руб}$ .

В пересчете на доллары США с учетом инфляции  $\mathcal{E}_{\text{год}} = 3547797/20001,05 = 18 \text{ 624\$}$ ;

Где 1,05 коэффициент, учитывающий инфляцию доллара за расчетный период;

2000 - средний курс доллара за май 2002- апрель 2003 г.

## ГЛАВА 4

## ОПТИМИЗАЦИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

## 4.1. Прогноз кольматажа скважин и определение рациональных сроков их регенерации

Многолетний опыт эксплуатации водозаборных скважин показывает, что их дебит существенно уменьшается во времени в связи с развитием кольматажа фильтров и призабойных зон. Поэтому необходимо прогнозировать интенсивность этого процесса, чтобы проектировать профилактические методы восстановления производительности водозаборов или перебуривание скважин [6].

Результаты исследования строения призабойных зон и фильтров скважин, находящихся в эксплуатации [6], а также характеристика основных физико–химических процессов, определяющих течение и интенсивность химического кольматажа, позволяют заключить, что в общем случае процесс оказывается зависящим от многочисленных факторов: химического состава подземных вод, химического и гранулометрического состава водовмещающих пород (гравийных обсыпок), наличия железобактерий и водорослей, конструкции водоприемной части скважины, ее производительности, коагуляция коллоидных растворов и различных видов сорбции растворенных в воде солей, типа водоподъемного оборудования, режима эксплуатации и др.

Совершенно очевидно, что в природных условиях будет действовать совокупность указанных выше факторов с различной степенью интенсивности. Этим, в частности, объясняется тот факт, что в пределах водозабора в одних геологических и гидрогеологических условиях, при одинаковых конструкциях скважин и фильтров, способах бурения и освоения никогда не получают равнозначных параметров, характеризующих работу рядом стоящих скважин (дебит, понижение уровня, сопротивление фильтра и др.). Такое многообразие факторов не может быть учтено при аналитическом решении задачи об интенсивности процесса химического кольматажа а различных гидрогеологических условиях [6].

Процесс кольматажа фильтров и прифильтровых зон скважин, представляющий собой пестепенное и в разной степени интенсивное отложение кольматирующих соединений, характеризуется уменьшением скважности фильтра и пористости пород в прифильтровой зоне, а также коэффициента фильтрации. Следовательно, изменение сопротивления фильтра и прифильтровой зоны может быть объяснено на основе гидравлических исследований фильтров [6].

При гидравлическом прогнозе изменения производительности скважин эффективным является анализ графиков изменения удельных дебитов скважин. Для анализа из-

менения удельного дебита скважин Н. Д. Бессоновым предложено аппроксимировать опытные данные экспоненциальной функцией времени:

$$q_t = q_0 * e^{-\beta t}; \quad (4.1)$$

где  $q_t$  - удельный дебит скважины в рассматриваемый момент времени  $t$ ;  $q_0$  – начальный удельный дебит скважины;  $\beta$  – коэффициент «старения» скважины.

При оценке межремонтного периода исходили из того, что при действии водозаборных скважин в режиме постоянного водоотбора, кольматаж их приводит к росту понижения уровня. Когда эта величина достигает предельных значений, дальнейшая эксплуатация скважин невозможна, так как происходит сработка динамического уровня до всасывающей кромки насоса, скважины работают с закрытыми задвижками не на полную производительность.

Если скважины действуют в режиме постоянного понижения уровней, то наблюдается непрерывное снижения их дебита и в конечном счете через какой – то период времени суммарная подача воды станет меньше требуемой [16,17,18].

Работы, по изучению изменения удельного дебита, проводились на водозаборных городов Минска, Гомеля, Могилева на скважинах, находящихся в различных гидрогеологических условиях, оборудованных сетчатыми, проволочными, дырчатыми и др. фильтрами или бесфильтровой конструкции с различным сроком эксплуатации до восстановительных обработок и после.

Исследования по изучению изменения удельного дебита проводились на скважинах 11 – ти водозаборов г. Минска, оборудованными проволочными, сетчатыми и каркасно-стержневыми фильтрами, которые каптируют воду из двух водоносных горизонтов днепровско-сожского (f, IgPd - sz) и верхнепротерозойского (V vd), с различными сроками эксплуатации до восстановительных обработок и первоначальными удельными дебитами.

Для получения параметра, характеризующего интенсивность старения скважины, опытные данные аппроксимировались графиком зависимости:

$$q_t / q_0 = e^{-\beta t}; \quad (4.2)$$

При обработке данных об изменении удельных дебитов, на основании паспортных данных скважин, выписывались величины первоначального удельного дебита  $q_0$  и удельного дебита  $q_t$ , причем значение  $q_t$  соответствует моменту времени до проведения первого ремонта скважины. Затем полученные данные по удельным дебитам аппроксимировались экспоненциальной функцией. После этого определялся параметр старения  $\beta$ , который соответствует снижению удельного дебита на 25% в сравнении с первоначальным дебитом.

Таким образом, в качестве критерия сравнения интенсивности изменения сопротивлений фильтров и прифильтровых зон скважин рассматривался коэффициент «старения»  $\beta$ , определенного по теоретической кривой в координатах  $q_t/q_0 \div t$  без учета периода стабильной работы скважины.

Результаты изучения изменения интенсивности удельного дебита для скважин, пробуренных ударно – канатным (станки УКС – 22м и УКС – 30м) и роторным (станки УРБ – 3АМ, 1БА – 15В и ФА - 12) способами на водозаборах г. Минска представлены в табл. 4.1.

Значения параметров зависимости снижения удельных дебитов от времени эксплуатации для скважин г. Минска

Таблица 4.1

Водоносный горизонт	Днепровско - сожский						Верхнепротерозойский
	УКС-22м, УКС-30м	УКС-22м, УКС-30м	УКС-22м, УКС-30м	ФА-12	УРБ-3АМ	УРБ-3АМ и УКС-22м, УКС-30м	
Тип буровой установки	УКС-22м, УКС-30м	УКС-22м, УКС-30м	УКС-22м, УКС-30м	ФА-12	УРБ-3АМ	УРБ-3АМ и УКС-22м, УКС-30м	УРБ-3АМ и 1БА-15В
Тип фильтра	Проволочный с гр. обсыпкой	Проволочный	Каркасно-стержнев. с гр. обсыпкой	Проволочн. с гр. осып.	Проволочный	Сетчатый	Проволочный
Первонач. уд. дебит, $m^3/ч \cdot м$	Коэффициент $\beta$ / рациональный срок регенерации, год / количество скважин						
0-15	- 0,102/2,8/19	- 0,05/5,5/16	-0,191/1,5/3	- 0,087/3,3/23	- 0,046/6,2/7	-0,042/6,9/4	- 0,018/15,4/10
15-25	- 0,093/3,1/22	- 0,09/3,1/12	-0,13/2,2/14	- 0,106/2,7/19	- 0,079/3,6/5	-0,054/5,3/2	- 0,026/11,1/1
25-50	- 0,083/3,5/10	- 0,158/1,9/2	-0,124/2,3/2	- 0,138/2,1/20	-0,071/4/1	-	-
>50	- 0,159/1,8/4	- 0,089/3,2/3	-	-0,223/1,3/3	- 0,157/1,8/1	-	-
Средние значения коэффициента $\beta$ / рационального срока регенерации, год							
-	-0,099/2,9	-0,077/3,7	-0,139/2,1	-0,115/2,5	-0,068/4,2	-0,046/6,3	-0,019/14,6

Результаты анализа показали (табл. 4.1), что наибольшую интенсивность «старения» имеют скважины, оборудованные каркасно–стержневыми с гравийной обсыпкой и проволочными с гравийной обсыпкой фильтрами. Их средний межремонтный период составляет соответственно от 2,1 до 2,9 года. Эти скважины были пробурены со средними и высокими первоначальными удельными дебитами. Скважины, оборудованные проволочными

и сетчатыми фильтрами без устройства гравийной обсыпки, имеют значительно больший межремонтный период, который изменяется от 3,7 до 14,6 года, и были пробурены на низкие первоначальные удельные дебиты.

Быстрое «старение» фильтров, оборудованных гравийной обсыпкой, объясняется тем, что в начальный период эксплуатации таких скважин происходит интенсивное уплотнение гравийной обсыпки в прифильтровой зоне, вызванное неправильным подбором гранулометрического состава самой гравийной смеси, и несоблюдением технологии бурения при устройстве таких фильтров. Поэтому удельные дебиты скважин, оборудованных гравийной обсыпкой, имеют тенденцию резко уменьшаться в первые годы эксплуатации. Для исследования этой закономерности были проанализированы 209 скважин, оборудованных различными фильтрами и пробуренных в различных гидрогеологических условиях. Расчеты показали, что между первоначальными удельными дебитами и значением  $r$  установилась обратная связь с коэффициентом корреляции  $r = -0,51$ . Это означает, что при увеличении первоначального удельного дебита интенсивность «старения» скважины будет увеличиваться. Так как скважины, оборудованные гравийными обсыпками эксплуатируются на большие удельные дебиты, то следовательно именно у таких скважин наблюдается падение удельного дебита в начальный период эксплуатации.

При сравнении скважин, оборудованных фильтрами с гравийной обсыпкой, у скважин, пробуренных ударно – канатным способом наблюдается тенденция уменьшения интенсивности «старения» относительно первоначального удельного дебита по сравнению со скважинами пробуренных роторным способом с обратной промывкой забоя станком ФА – 12 (табл. 4.1). При бурении скважин станком ФА – 12 с обратной промывкой забоя происходит подача воздуха от компрессоров в водоподъемные трубы эрлифта, при этом образуется водовоздушная смесь, кислород которой способен переводить окисное железо в закисное. При остановках эрлифта столб воды обрывается, создавая избыточный напор в скважине, под влиянием которого происходит утечка воды из скважины в пласт. Вследствие этого в прифильтровой зоне могут накапливаться железистые соединения, понижающие пропускную способность фильтра [6].

Достоинство ударно – канатного способа бурения, по сравнению с роторным, состоит в том, что сооружение фильтров при ударно – канатном способе происходит под защитой обсадных колонн [6], что создает условия для быстрого формирования устойчивых арочных структур гравийной обсыпки в процессе эксплуатации.

Несмотря на быстрое снижение удельного дебита скважин с гравийными обсыпками в начальный период эксплуатации, эти скважины имеют постоянный достаточно большой удельный дебит при дальнейшей их работе в течение многих лет.

Опыт эксплуатации водозаборных скважин показывает, что их производительность и дренирующая способность существенно снижаются во времени вследствие зарастания фильтров и прифильтровых зон скважин гидратом железа, карбонатом кальция и силикатными образованиями [6]. Анализами состава осадков, отлагающихся на фильтре и гравийной обсыпке, установлено, что в составе осадков преобладают соединения железа и кальция [13].

Содержание железа в подземных водах г. Минска изменяется в пределах от 0,05 до 9,95 мг/л, а величина рН воды находится в пределах 7,15 – 8,4. При таких значениях рН закисное железо мигрирует в ионной форме. Поэтому кольматаж фильтров и прифильтровых зон гидрозакисью железа маловероятен. Но трехвалентное железо будет в форме коллоида или преимущественно даже в виде суспензии, поскольку коагуляция коллоидальной гидроокиси железа в зависимости от солевого состава воды происходит при  $\text{pH} = 6 - 7$  [6]. Процесс кольматации фильтров соединениями железа будет идти только в окислительной обстановке при наличии в водах кислорода, необходимого для перевода иона железа в трехвалентную форму.

Критерием стабильности воды и способности к выделению осадков карбоната кальция является показатель Ризнера ( $R_i$ ). Экспериментально установлено, что при  $R_i < 7$  воды всегда склонны к выделению кольматирующих образований. Значения  $R_i$  в подземных водах г. Минска лежит в пределах от 7,12 до 8,76. При таких значениях показателя Ризнера воды способны кольматировать фильтры и прифильтровые зоны скважин главным образом соединениями железа и в меньшей степени солями жесткости. Это подтверждается исследованиями состава кольматирующих отложений [13].

Для выявления зависимости интенсивности кольматации от степени коррозионного воздействия воды (показателя Ризнера) (рис. 4.1) и содержания железа (рис. 4.2), были проанализированы 179 скважин. Коэффициенты корреляции в обоих случаях не превышают 0,08, поэтому зависимость считается несущественной. Такое явление связано, по – видимому, с проявлением особенности кольматационных процессов на водозаборах г. Минска, обусловленной биологическим кольматажем – накоплением продуктов жизнедеятельности железо- и сульфатредуцирующих бактерий. Таким образом, интенсивность химической кольматации фильтров определяется не только содержанием соединений железа, кальция, магния и др., но их стабильностью при определенных значениях величин рН

В табл. 4.2 приведены рациональные межремонтные сроки и коэффициенты «старения»  $\beta$  для водозаборов г. Минска, без учета периода стабильной работы при уменьшении значения удельного дебита на 25%.

Значения рациональных межремонтных периодов для водозаборов г. Минска

Таблица 4.2

Наименование водозабора	Значение параметра «β»	Рациональный межремонтный период, год
«Новинки»	-0,0925	3,1
«Зеленовка»	-0,0868	3,3
«Боровляны»	-0,0797	3,6
«Петровщина»	-0,142	2
«Водопой»	-0,0994	2,9
«Дражня»	-0,0781	3,7
«Вицковщина»	-0,0924	3,2
«Волма»	-0,0441	6,5
«Острова»	-0,118	2,5
«Фелицианово»	-0,111	3
«Зеленый бор»	-0,0956	3
Среднее значение	-0,0945	3,35

Средний межремонтный период в целом по г. Минску составляет 3,35 года (табл.4.2), для условий естественного старения скважин, при снижении первоначального удельного дебита на 25%.

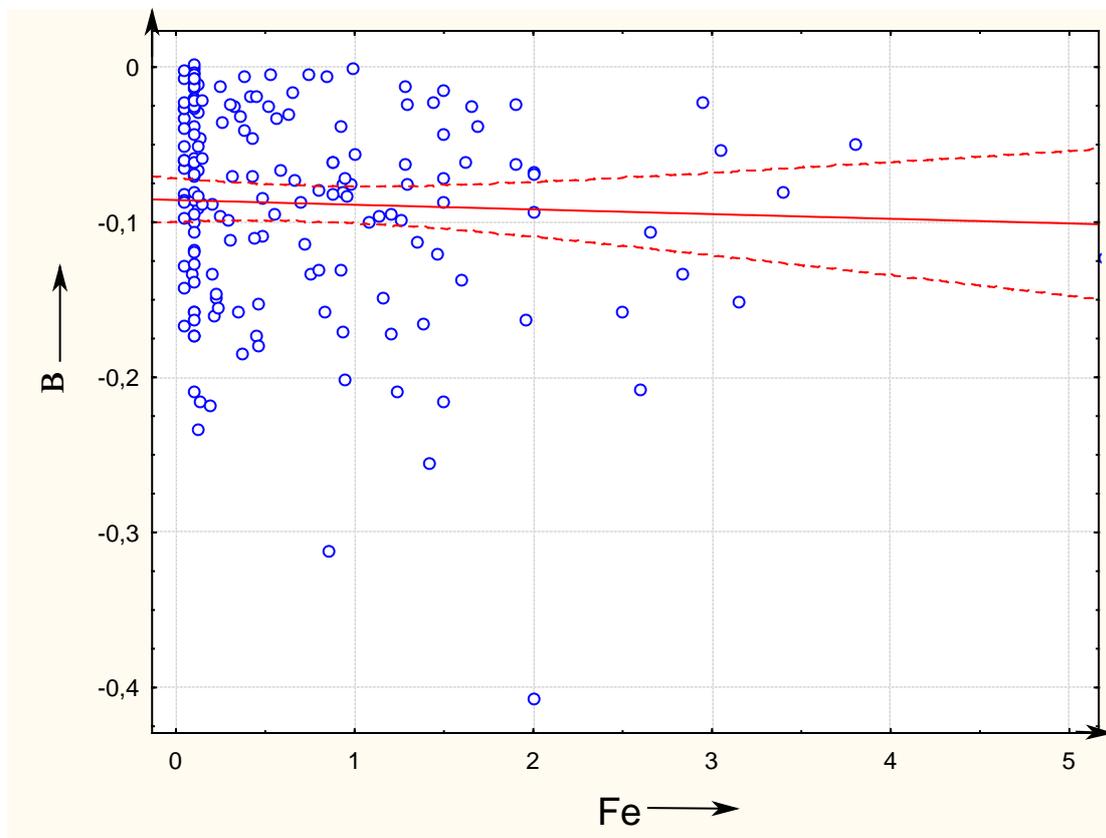


Рис 4.1 График зависимости коэффициента «старения» от содержания железа.

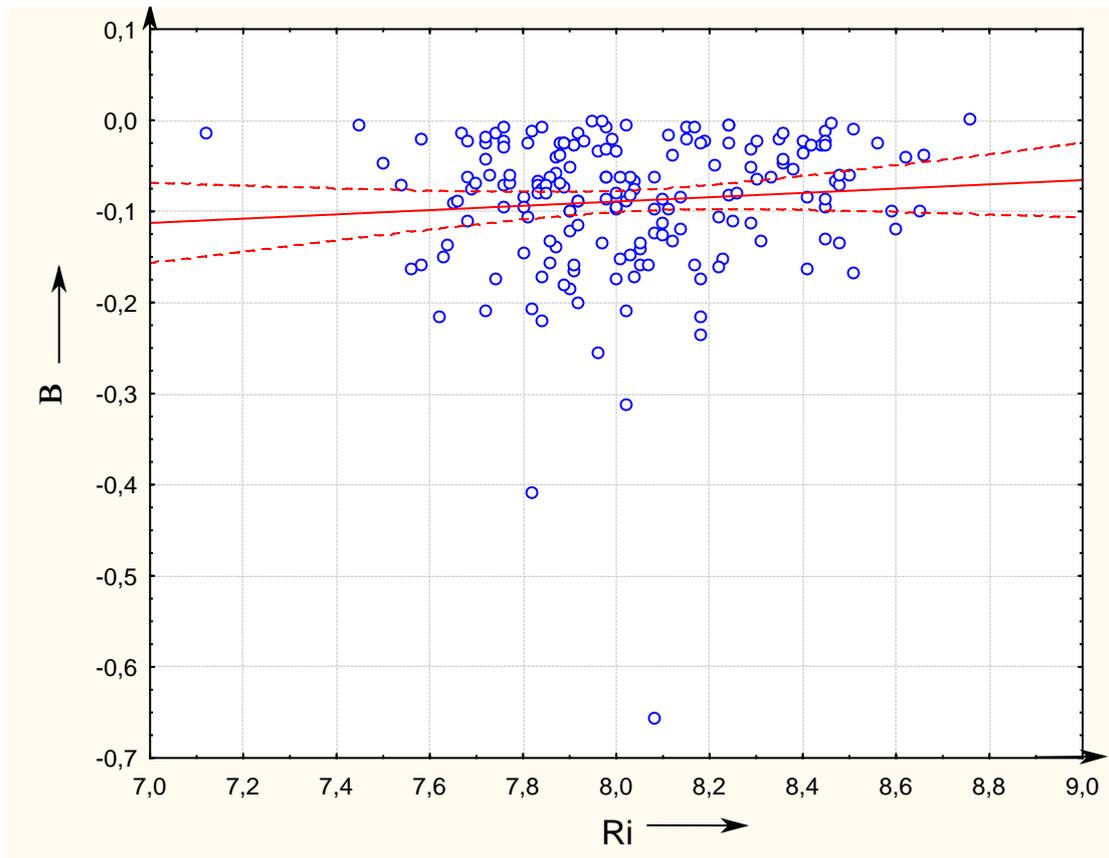


Рис 4.2 График зависимости коэффициента «старения» от показателя Ризнера.

Проанализированные 203 скважины имели первые восстановительные ремонты в среднем через 14 лет, при среднем понижении удельного дебита на 45%, что негативно сказывается на дальнейшей работе скважин, выраженной в уменьшении ее производительности и сработки динамического уровня до всасывающей кромки насоса. Так как с течением времени происходит дегидратация и цементация кольматанта, что затрудняет дальнейшую регенерацию фильтра и вынуждает либо прибегнуть к замене фильтра либо к перебуриванию скважины. Это свидетельствует о том, что своевременное проведение восстановительных обработок играет важную роль в дальнейшей эксплуатации скважины и продления срока ее службы.

Время наступления интенсивного кольматажа скважин, пробуренные на водоносные пески палеоген – неогенового водоносного комплекса, составляет 2–3 года, для скважин прошедших кислотную обработку меньше и составляет 1,5 года [16,17,18].

Скважины, пробуренные на водоносные трещиноватые скальные породы водоносного комплекса верхнего мела, оборудованные в основном дырчатыми фильтрами или бесфильтровой конструкции – открытый ствол. Интенсивная кольматация фильтров для таких скважин наступает через 4 года. Период стабильной работы для бесфильтровых скважин отсутствует [16,17,18].

Для скважин, пробуренных на водоносные альб – сеноманские пески нижнего и верхнего мела, время начала интенсивной кольматации фильтров и прифильтровых зон составляет 4,5 – 5 лет.

Таким образом, анализируя результаты исследования можно сделать следующие выводы:

1) Рациональный межремонтный период декольматажа скважин для г. Минска зависит от типа применяемого фильтра, биологического фактора (жизнедеятельности железоз- и сульфатредуцирующих бактерий) и мало зависит от абсолютных значений показателя Ризнера и величины растворенного в воде железа.

2) Скважины, оборудованные проволочными с гравийной обсыпкой фильтрами и пробуренные ударно – канатным способом, с применением станков типа УКС - 22м и УКС - 30м, имеют лучшие показатели по величине дебитов за счет более качественной гравийной обсыпки сооружаемого фильтра.

3) Ориентировочный рациональный межремонтный период для водозаборов г. Минска для условий естественного старения скважин, при понижении первоначального удельного дебита на 25% лежит в пределах от 2 до 6,5 года, что в среднем составляет 3,35 года.

3) Ориентировочный межремонтный период для фильтровых скважин, пробуренных на водоносные, рыхлые породы четвертично – палеогенового периода и каптирующих подземные воды, обладающих слабыми коррозионными свойствами ( $J < 0$ ,  $Ri < 8$ ) составляет 2,5 – 4,0 года; для скважин, каптирующих подземные воды с сильно выраженными коррозионными свойствами ( $J < 0$ ,  $Ri > 9$ ) составляет 2,5 – 3,5 года.

4) Ориентировочный межремонтный период декольматажа скважин, пробуренных на водоносные альб – сеноманские пески нижнего мела или старооскольского - швентойского водоносного комплекса составляет порядка пяти лет

5) Ориентировочный межремонтный период для скважин, пробуренных на скальные водоносные породы верхнего мела и верхнего девона составляет 4 – 5 года. Воды не коррозионны. Индекс стабильности положительный. Показатель Ризнера менее 7,5.

6) Для поддержания эксплуатационного режима работы скважин и продления срока их службы, необходимо проведения своевременных восстановительных профилактических и ремонтных мероприятий с периодичностью, не превышающей рациональных межремонтных сроков регенераций скважин. При определении рационального межремонтного периода регенерации необходимо учитывать конкретные природные условия каждой скважины индивидуально, а также эксплуатационные характеристики и состояние скважи-

ны, определяемые наблюдениями в течение всего срока службы за работой отдельной скважины.

## 4.2. Районирование территории Республики Беларусь по характеру кольматации и регенерации фильтров скважин

Химический кольматаж представляет собой постепенное отложение химических соединений в порах фильтра и на зернах пористой среды призабойных зон скважин, вызванное смещением химического равновесия в подземных водах в непосредственной близости от скважины.

Возможность прогноза смещения химического равновесия в подземных водах и идентификация состава кольматанта по осадкам создает предпосылки для районирования территории Беларуси с целью выделения зон кольматирующих отложений, характеризующихся интенсивным снижением производительности работы водозаборов и назначения соответствующих методов их регенерации [2,9,10].

***Район распространения водоносных комплексов, приуроченных к четвертичным отложениям.*** Район эксплуатации четвертичных водоносных отложений (рис. 1.2) характеризуется изменяющимися в широких пределах значениями индекса стабильности (от 7 до 9). В кольматирующих образованиях скважин, каптирующих этот водоносный горизонт, отмечается преобладание железосодержащего компонента в виде гидроокислов, окислов и сульфидов железа, а также соединения кальция и магния, алюминия, кремния, марганца и фосфора. Интенсивное залегание кольматанта наблюдается в зонах неглубокого залегания водоносных отложений. В таких условиях эффективны реагентные способы регенерации скважин с применением реагентной ванны и циклическим задавливанием реагента за контур фильтра. В качестве реагента может служить соляная кислота (HCl), бисульфат ( $\text{NaHSO}_4$ ) и триполифосфат натрия ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) [22,19,20,21].

Характеристика применения различных способов регенерации для конкретных гидрогеологических условий приведена в таблице 4.3.

Применение дитионита натрия, для достижения максимального восстанавливающего эффекта, возможно в районах с минимальным содержанием сульфидов железа (FeS) в кольматанте.

Для скважин, которые не подвергались ремонтно-восстановительным мероприятиям более 5-10 лет, целесообразно применение комбинированных импульсно-реагентных методов регенерации фильтров скважин.

Оптимальные межремонтные периоды для скважин, эксплуатирующих водоносный комплекс четвертичных отложений, составляет 1,5-3 года для условий стабильной их работы.

Районирование территории Беларуси по характеру кольматации и по способам восстановления производительности водозаборных скважин

Таблица 4.2

Основные гидрологические районы	Характеристика кольматажа		Методы регенерации водозаборных скважин	Межремонтный период при понижении дебита на 30 %
	Преобладающий состав кольматирующих образований	Индекс стабильности (Ri), (содержание железа, мг/л)		
1. Район распространения водоносных комплексов четвертичных отложений.	1. Fe(OH) <sub>3</sub> , 2. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 3. FeS, 4. CaCO <sub>3</sub> , 5. MgCO <sub>3</sub> .	7-9, (0,2-1) реже 1,5	1. Реагентные, с использованием HCl, NaHSO <sub>4</sub> , Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> и при отсутствии FeS еще и Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 2. Импульсные, при возрасте скважин до 5 лет. 3. Комбинированные, при возрасте скважин 5-10 лет и более.	1,5-3 года
2. Район распространения водоносных комплексов палеоген-неогенных и четвертичных отложений.	1. Fe(OH) <sub>3</sub> , 2. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 3. SiO <sub>2</sub> , 4. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 5. FeS.	8,5-10, (0,5-1,5) реже 2,0	1. Реагентные, с использованием HCl, NaHSO <sub>4</sub> , Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> , Na <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · 2HCl с добавками NH <sub>4</sub> HF <sub>2</sub> 2. Импульсные, при возрасте скважин до 5 лет. 3. Комбинированные, при возрасте скважин 5-10 лет и более.	2-4 года
3. Район распространения водоносных комплексов мезозойского возраста.	1. Fe(OH) <sub>3</sub> , 2. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 3. FeS, 4. CaCO <sub>3</sub> .	7,5-8,5, от (0,4-0,8) в западной части до (1,2-1,6)- и на юге-востоке	1. Реагентные, с использованием NaHSO <sub>4</sub> , HCl, Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> , Na <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · 2HCl 2. Импульсные, при возрасте скважин до 5 лет. 3. Комбинированные, при возрасте скважин 5-10 лет и более.	3-5 лет
4. Район распространения водоносных комплексов, связанных с карбонатными отложениями верхнего девона.	1., CaCO <sub>3</sub> , 2. MgCO <sub>3</sub> , 3. Fe(OH) <sub>3</sub> , 4. FeS, 5. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	6,7-7,5, (0,5-1,2) реже до 1,5 и более	1. Реагентные, с использованием HCl, NaHSO <sub>4</sub> , Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> , Na <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · 2HCl 2. Импульсные, при возрасте скважин до 5 лет. 3. Комбинированные, при возрасте скважин 5-10 лет и более.	3-6 до 7 лет
5. Район распространения водоносных комплексов, связанных с терригенными отложениями среднего и верхнего девона	1. Fe(OH) <sub>3</sub> , 2. FeS, 3. CaCO <sub>3</sub> .	6,9-7,5, (0,5-1,5)	1. Реагентные, с использованием HCl, NaHSO <sub>4</sub> , Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> , Na <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · 2HCl 2. Импульсные, при возрасте скважин до 5 лет. 3. Комбинированные, при возрасте скважин 5-10 лет и более.	3-6 до 7 лет
6. Район распространения водоносных	1. Fe(OH) <sub>3</sub> , 2. FeS,	7,5-9, (0,5-1,2) в от-	1. Реагентные, с использованием HCl,	2-5 лет

комплексов, приуроченных к протерозойским отложениям.	3. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	дельных скважинах до (5-7)	NaHSO <sub>4</sub> , Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> , Na <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · 2HCl 2. Импульсные, при возрасте скважин до 5 лет. 3. Комбинированные, при возрасте скважин 5-10 лет и более.	
---	-------------------------------------	----------------------------	--	--

**Район распространения водоносных комплексов, связанных с палеоген-неогенными и четвертичными отложениями.** Водоносные горизонты палеоген-неогеновых и четвертичных отложений широко развиты и активно эксплуатируются на юге республики, в пределах Брестского и Припятского артезианских бассейнов (рис. 1.2).

Для рассматриваемого района характерен кольматаж фильтров и прифильтровых зон водозаборных скважин преимущественно гидроокисными формами железа и алюмосиликатными соединениями. Алюминий и кремний фиксируются в виде коагелей взаимного с гидроокисью железа осаждения. Концентрация водорастворенных форм кремниевой кислоты достигают 10 и более мг/л [22,16,17].

Агрессивность вод по отношению к карбонатным соединениям характеризуется величинами показателя Ризнера от 8,5 до 10 и более.

Наличие повышенных содержаний алюмосиликатов в составе кольматирующих образований является отличительной особенностью рассматриваемого гидрогеохимического района. В начальной стадии эксплуатации водозаборных скважин осаждение коагеля железа и алюмосиликатов могут быть удалены традиционными способами. Со временем происходит формирование плотной цементной корки сложной по составу.

Удовлетворительная степень растворения сформированного таким образом цемента обрастания достигается добавками к рабочему раствору реагента незначительных количеств плавиковой кислоты (HF). Для обеспечения безопасности выполняемых работ возможна замена плавиковой кислоты ее солью – бифторидом аммония (NH<sub>4</sub> HF<sub>2</sub>). Кроме того, для этих целей применимы также растворы фторида аммония (NH<sub>4</sub>F) и метилформиата (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> O<sub>2</sub>). Положительный результат может быть получен и в случае применения комбинированных методов регенерации.

На юго-западе республики значительного увеличения алюмосиликатов в кольматирующих образованиях не наблюдается, что позволяет рекомендовать реагентные обработки с применением растворов соляной кислоты, бисульфата и триполифосфата натрия.

Продолжительность стабильной работы водозаборных скважин (до 30 % снижения удельных дебитов) составляет 2-4 года.

**Район распространения водоносных комплексов мезозойского возраста.** интенсивный водоотбор из водоносных комплексов меловых и юрских отложений осуществля-

ется на западе и юго-востоке республики (рис. 1.3). основными эксплуатационными комплексами района являются представленные песчаными и мергельно-меловыми породами верхнесеноманско-маастрихтские, альб-маастрихтские, альб-сеноманские, а также оксфордские и альб-сеноманские отложения [22].

Кольматирующие образования на фильтрах скважин характеризуются преобладанием железосодержащего компонента в виде гидроокислов и сульфидов железа. Оптимальным способом регенерации фильтров скважин в этом случае является реагентный с применением соляной кислоты, бисульфата и триполифосфата натрия.

Отличительной особенностью кольматанта фильтровых колонн скважин, капирующих водоносные карбонатные отложения мезозойского возраста, является повышенное содержание карбоната кальция. В этом случае эффективно применение кислотных методов регенерации. Во избежание газлифта с достаточной эффективностью могут быть также применены растворы фосфатов и дитионит натрия (при незначительном содержании сульфида железа в кольматанте).

Величина рН мезозойского водоносного комплекса характеризуется значениями от 7,2 до 7,5. Величины индекса стабильности изменяются в пределах от 7,5 до 8,5. Содержание водорастворенного железа – от 0,4-0,8 мг/л на западе республики возрастает до 1,2-1,6 мг/л в ее юго-восточных областях.

Продолжительность стабильной работы скважин составляет 3-5 лет.

***Район распространения водоносных комплексов, связанных с палеозойскими отложениями.*** Из палеозойских водоносных комплексов наиболее интенсивно эксплуатируются карбонатная толща верхнего девона, старооскольские и ланские водоносные отложения среднего и верхнего девона. Все они широко развиты в северной, северо-восточной и восточной частях республики (рис. 1.4).

Водоносная толща старооскольских и ланских отложений представленных песками и песчаниками, характеризуется железистыми кольматантами (гидрооксид и сульфид железа). Известняки и доломиты карбонатной толщи верхнего девона способны отлагать на фильтрах водозаборных скважин кольматирующие образования сложного химического состава. В целом, район распространения девонских водоносных отложений характеризуется низкими значениями рН и несколько повышенным содержанием водорастворенного железа. Численные значения показателя Ризнера (от 6,7 до 6,9) свидетельствуют о склонности вод к выделению из раствора солей жесткости [22].

Преобладающими в составе кольматанта компонентами являются карбонатные соединения кальция и магния, а также железистые образования, представленные гидроокисными и сульфидными формами. На отдельных участках развития девонских водоносных

отложений в кольматирующих образованиях отмечаются повышенные содержания алюмосиликатов.

При выполнении работ по восстановлению производительности скважин, оборудованных с целью эксплуатации водоносных комплексов палеозойского возраста, возможно применение как импульсных, так и реагентных методов регенерации.

Периодичность проведения ремонтных мероприятий может изменяться от 3 до 6-7 лет.

Условия эксплуатации протерозойских водоносных отложений определяются сравнительно глубоким залеганием водовмещающей толщи и ее литологическим составом. В подземных водах отмечены повышенное содержание хлоридов и сульфатов, а в ряде случаев - железа в районах, прилегающих к Микашевичско-Житковичскому выступу.

Железистые отложения на фильтрах водозаборных скважин представлены преимущественно сульфидами.

Район распространения водоносных отложений протерозойского возраста характеризуется изменяющимися в широких пределах значениями индекса стабильности – от 7,5 до 9 и более. В таких условиях и при наличии высоких содержаний водорастворенного железа выпадения из растворов солей жесткости в больших количествах маловероятно.

Регенерация водозаборных скважин, каптирующих протерозойские водоносные комплексы, может выполняться реагентным методом с применением соляной кислоты, триполифосфата и бисульфата. При восстановлении производительности скважин, эксплуатирующих водоносные горизонты скальных и полускальных пород, целесообразно проведение импульсных обработок, обеспечивающих развитие трещиноватости и способствующих улучшению фильтрационных свойств зоны водоотбора [22].

Снижение удельной производительности до 20-30 % от первоначальной наступает через 2-5 лет эксплуатации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследования установлено, что в ходе эксплуатации скважин в большинстве случаев наблюдается снижение их производительности вследствие механического, химического и биологического кольматажа. Поэтому для поддержания производительности водозаборных скважин необходимо проведение профилактических и ремонтно-восстановительных мероприятий с периодичностью не превышающей рационального межремонтного периода. Для Беларуси в целом значения межремонтного периода изменяются от 1,5 до 7 лет, что в среднем составляет около 3-х лет.

Анализ состава кольматирующих соединений показал, что основными компонентами отложений на фильтрах на территории республики являются соединения железа (40-70%) и кальция (3-38%). Соединения железа представлены оксидами и сульфидами. Минералогически оксиды железа представлены лимонитом, гидрогетитом, гетитом и рентгено-аморфной гидроокисью железа. Соединения кальция состоят из кальцита, доломита. Сульфидные соединения состоят из пирита и маркизита.

Кроме того, определены основные принципы районирования территории по характеру образования кольматанта, периодичности и методам восстановления производительности скважин. Районирование основывается на особенностях геолого-гидрологических условиях водоносных горизонтов, литологическом составе водоносных пород, химическом составе кольматанта, интенсивности кольматажа.

Сочетание импульсного и реагентного методов дает наилучшие результаты при восстановительных ремонтах, так как эффективность восстановления практически не зависит от гидростатического давления в скважине и от типа применяемого фильтра, а только от количества и состава кольматанта и состояния самого фильтра. Под действием импульсных нагрузок водонепроницаемые структуры кольматанта разрушаются, создаются дополнительные трещины, увеличивается контакт кислоты с цементирующими осадками, более глубоко проникает кислота за контур фильтра, благодаря чему возрастает степень растворения солевых соединений. Это способствует более эффективному восстановлению структуры, пористости и проницаемости прилегающих к фильтру пород и увеличению срока эксплуатации скважин. Данный метод рекомендуется практически по всей территории республики для скважин, возраст которых составляет от 5 до 10 и более лет.

Для увеличения ресурса водозаборных скважин и повышения их коррозионной стойкости, необходимо применение более прогрессивных пластиковых фильтров (герман-

ская фирма «Пройсаг») и обсадных колонн, а также фильтров, изготовленных полностью из нержавеющей стали (американская фирма «Джонсон») и устанавливаемых впотай.

Полученные результаты являются основой организации планово-профилактических работ, связанных с декольматажом фильтров водозаборных скважин.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев В. С. Об особенностях подземных вод, склонных к осадкообразованию. Труды ВНИИ «ВОДГЕО», М.: вып. 13, 1966 г.-с.118-120.
2. Алексеев В. С., Коммунар Г. М., Гребенников В. Г. Опыт районирования методов регенерации скважин. Гидротехника и мелиорация. №4, 1979 с. 77- 82.
3. Апельцин И. Э. Подготовка воды для затопления нефтяных пластов. М., Гостоптехиздат, 1960, 299с.
4. Башкатов А.Д. Предупреждение пескования скважин. - М.: Недра, 1991. - 176 с.: ил.
5. Воробьева Г. И., Гуринович А. Д., Макарова Э. А., Ничипор В. В. Геохимическое районирование территории БССР (Брестская область) для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Отчет БелКТИГХ, инв.№ Б 946393, Минск, 1980, 55 с.
6. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. Изд.2, перераб. и доп. М., "Недра", 1976. 345 с.
7. Герасимович А. И. Математическая статистика: [Учеб. Пособие для инж.-техн. и экон. спец. вузов].- 2-е изд., перераб. и доп.- Мн.: Выш. Школа, 1983.- 279 с., ил.
8. Герасимович А.И. Учебное пособие для инж.-техн. Спец. – 2 - е изд., перераб. И доп. - Мн.: Высш. школа, 1983. - 279 с., ил.
9. Гуринович А. Д., Сытин А. П., Макарова Э. А., Смирнов П. П., Глухова А. В., Панасенко В. А. Геохимическое районирование территории БССР для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Геохимическое районирование Витебской области. Отчет БелКТИГХ, инв.№ 02850045909, Минск, 1983, 60 с.
10. Гуринович А. Д., Сытин А. П., Макарова Э. А., Смирнов П. П., Глухова А. В., Панасенко В. А. Геохимическое районирование территории БССР для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Геохимическое районирование Могилевской области. Отчет БелКТИГХ, инв.№ 02850045907, Минск, 1983, 82 с.
11. Гуринович А.Д. Питьевое водоснабжение из подземных источников: проблемы и решения. - Мн.: «ТЕХНОПРИНТ», - 2001 – 305 с.

12. Дубровский В.В. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду. Изд. 2, переработанное и дополненное. М., «Недра» , 1972, 512 с.
13. Ивашечкин В. В., Кондратович А. Н., Макарова Э. А. Исследование отложений в фильтрах водозаборных скважин и тестирование реагентов для их удаления. - Мир технологий №1, 2004 г., стр. 81 – 88.
14. Квашнин Г.П., Деревянных А.И. Водозаборные скважины с гравийными фильтрами. М., Недра, 1981. 216 с.
15. Кудельский А. В., Пашкевич В. И., Ясовеев М. Г. Подземные воды Беларуси. - Мн. : Институт геологических наук НАН Беларуси, 1998 г. – 260 с .
16. Макарова Э. А., Воробьев Л. А., Гуринович А. Д. Исследование режимов регенерации и технологии реагентного восстановления водозаборных скважин коммунальных систем водоснабжения. Выбор направлений исследований. Промежуточный отчет БелКТИГХ, № Гос. Регистрации 01830030052, Минск, 1983, 59 с.
17. Макарова Э. А., Воробьев Л. А., Гуринович А. Д., Шкуратов В. Г. Исследование режимов регенерации и технологии реагентного восстановления водозаборных скважин коммунальных систем водоснабжения. Экспериментальные исследования. Промежуточный отчет БелКТИГХ, № Гос. Регистрации 01830030052, Минск, 1984, 29 с.
18. Макарова Э. А., Воробьев Л. А., Гуринович А. Д., Шкуратов В. Г. Исследование режимов регенерации и технологии реагентного восстановления водозаборных скважин коммунальных систем водоснабжения. Заключительный отчет БелКТИГХ, № Гос. Регистрации 01830030052, Минск, 1987, 110 с.
19. Макарова Э. А., Воробьева Г. И., Глухова А. В., Гуринович А. Д., Панасенко В. А., Смирнов П. П., Геохимическое районирование территории Гомельской области для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Отчет БелКТИГХ, инв.№ 02829045924, Минск, 1983, 86 с.
20. Макарова Э. А., Воробьева Г. И., Глухова А. В., Гуринович А. Д., Панасенко В. А., Смирнов П. П., Геохимическое районирование территории БССР для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Геохимическое районирование Гродненской области Отчет БелКТИГХ, инв.№ 02850045908, Минск, 1983, 60 с.
21. Макарова Э. А., Воробьева Г. И., Глухова А. В., Гуринович А. Д., Панасенко В. А., Смирнов П. П., Геохимическое районирование территории Минской области для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Отчет БелКТИГХ, инв.№ 02830013273, Минск, 1983, 96 с.

22. Панасенко В. А. Гидрогеохимические особенности зоны активного водообмена территории Белорусской ССР в связи с оптимизацией эксплуатационных режимов водозаборных скважин. Диссертация на соискание степени кандидата геолого–минералогических наук. Мн., 1986 г.
23. Плотников Н.А. Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. - М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.ил.
24. Работнова И. Л. Общая микробиология. М., 1966, 260 с.
25. Романенко В.А. Электрофизические способы восстановления производительности водозаборных скважин. - Л.: Недра, 1980.- 79 с.
26. Рябушко В. В., Бархатов А. П., Юреть И. Е. Сборник индивидуальных заданий по теории вероятностей и математической статистике.- Мн.: Выш. Шк., 1992. – 191 с.: ил.
27. Станкевич Р. А. Минское месторождение глубоких артезианских вод: краткий очерк природных условий и истории освоения. – Мн.: Беларуская навука, 1997. – 87 с.
28. Сытин А. П., Макарова Э. А., Смирнов П. П., Панасенко В. А. Геохимическое районирование территории БССР для организации технического обслуживания сельскохозяйственного водоснабжения. Заключительный отчет БелКТИГХ, № Гос. Регистрации 80032447, Минск, 1985, 83 с.
29. Усенко В.С. Вопросы теории фильтрационных расчетов дренажных и водозаборных скважин. М., « Колос», 1968, 301 с.
30. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента/ Пер. с англ., М.: Мир, 1972, 381 с.