

Тагибаев Д.Д.

**ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНИСТОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ КОЛЬМАТАЦИИ**

*D.D. Tagibaev*

**THE CHANGE OF GEOMETRICAL CHARACTERISTICS GRAINED POROUS MEDIUM IN THE PROCESS OF SEDIMENTATION**

УДК:624/032

*Макалада суу тазалоодогу колдонулуучу фильтirlөөчү торчолордун геометриялык мүнөзүнүн өзгөрүшү жөнүндө маалымат берилген.*

*В статье описан процесс изменения геометрических характеристик зернистой пористой среды в процессе очистки природной воды.*

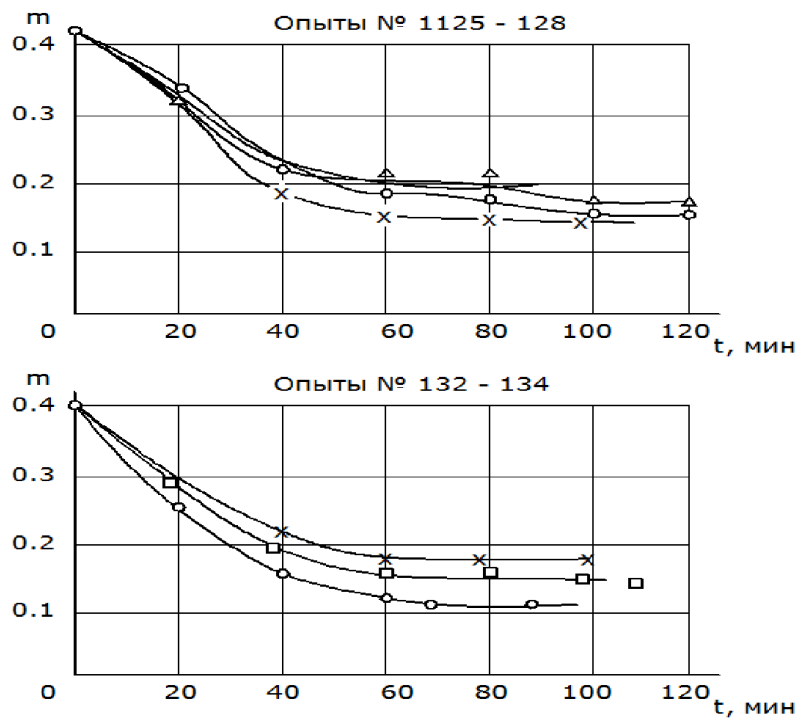
*The article describes the process of change of the geometrical characteristics grained porous medium in the process of purification of natural water.*

Рост гидравлического сопротивления пористой среды при кольматации происходит вследствие изменения характеристик ее геометрической структуры; пористости и удельной поверхности поровых каналов. Вопрос об изменении этих величин является открытым. По мнению одних исследователей, [1,2] в процессе фильтрования суспензий возможна полная кольматация пористой среды, при этом величина пористости заиленной фильтрующей среды может быть сколь угодно близкой к нулю. По мнению других [3, 4] при фильтровании малокоцентрированных суспензий с постоянной скоростью насыщение пористой среды происходит лишь до определенного предела и конечная (предельная) пористость фильтрующей среды имеет значительную величину, вполне сопоставимую с пористостью незаиленного фильтрующего слоя.

Также не ясна общая тенденция в формировании удельной поверхности поровых каналов при кольматации зернистых загрузок. Часть исследователей [5,2] полагает, что по мере накопления осадка поверхность прилипания уменьшается, другие [6,7] считают, что при фильтровании скоагулированной взвеси, образующей в порах загрузки малопрочные отложения, поверхность поровых каналов значительно не меняется.

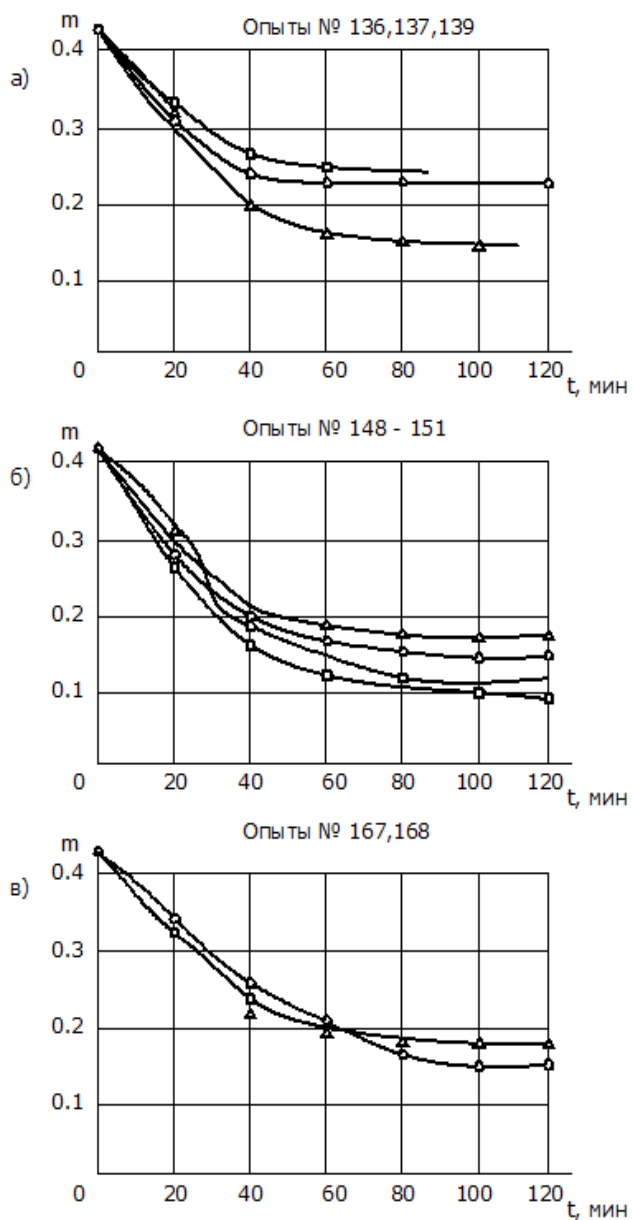
Пористость фильтрующей загрузки.

На рис.1-3. представлены экспериментальные графики изменения пористости зернистого фильтрующего слоя в процессе его заиления. Кривые, полученные в различных условиях проведения опытов, имеют одинаковый характер: вначале происходит интенсивное накопление отложений в порах фильтра и его пористость значительно уменьшается, а затем наступает состояние предельного насыщения, когда величина пористости не меняется. Как видно из графиков, полная кольматация пор никогда не достигалась. В каждом опыте значительный объем порового пространства фильтрующей среды оставался незаиленным. Величина предельной пористости загрузки для разных опытов колебалась от 0,105 до 0,24, следовательно от 0,25, до 0,55 объема пор не было занято отложениями, а величина предельной насыщенности изменялась от 0,45 до 0,75.



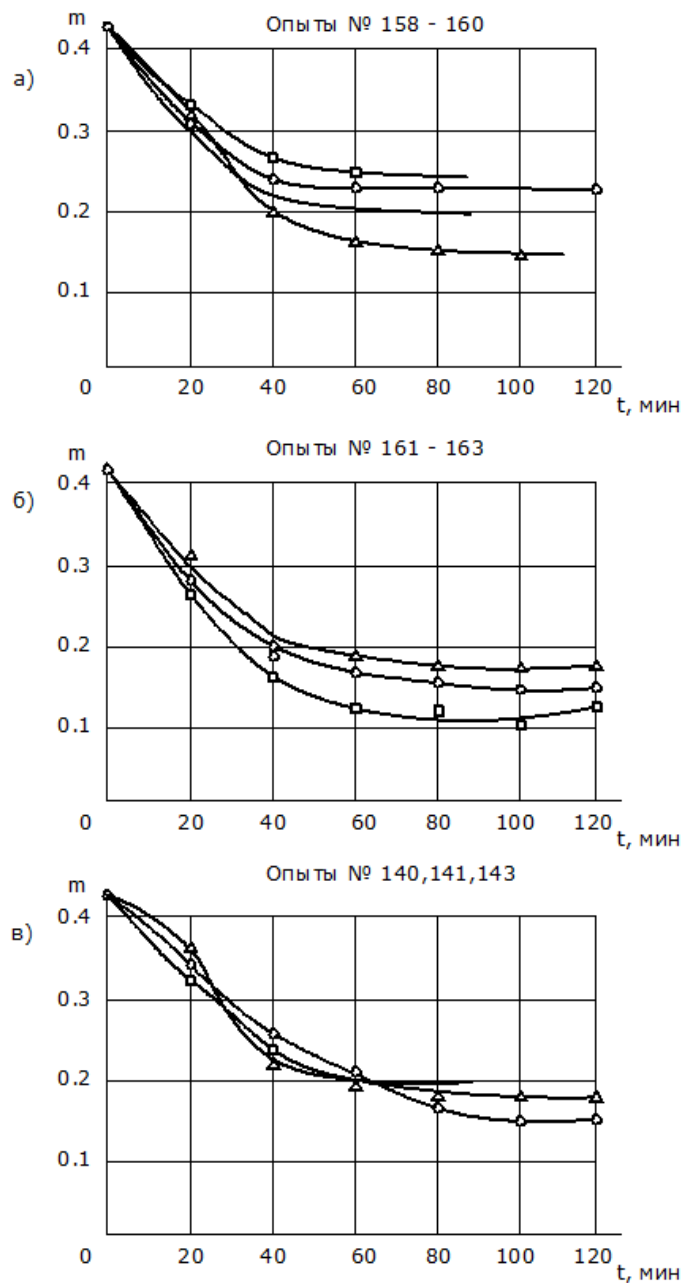
**Рис. 1.** Изменение пористости фильтрующего слоя в процессе кольматации:

*a* – суспензия глины, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ ;  
*b* – то же, с добавкой ПАА.



**Рис. 2.** Изменение пористости фильтрующего слоя в процессе кольматации:

*а,* – суспензия глины, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ ;  
*б, в* – торфяная вытяжка, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ .



**Рис. 3.** Изменение пористости фильтрующего слоя в процессе кольматации:

*а, б* – вода р. Сходная, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ ;  
*в* – суспензия глины, обработанная ВА – 2.

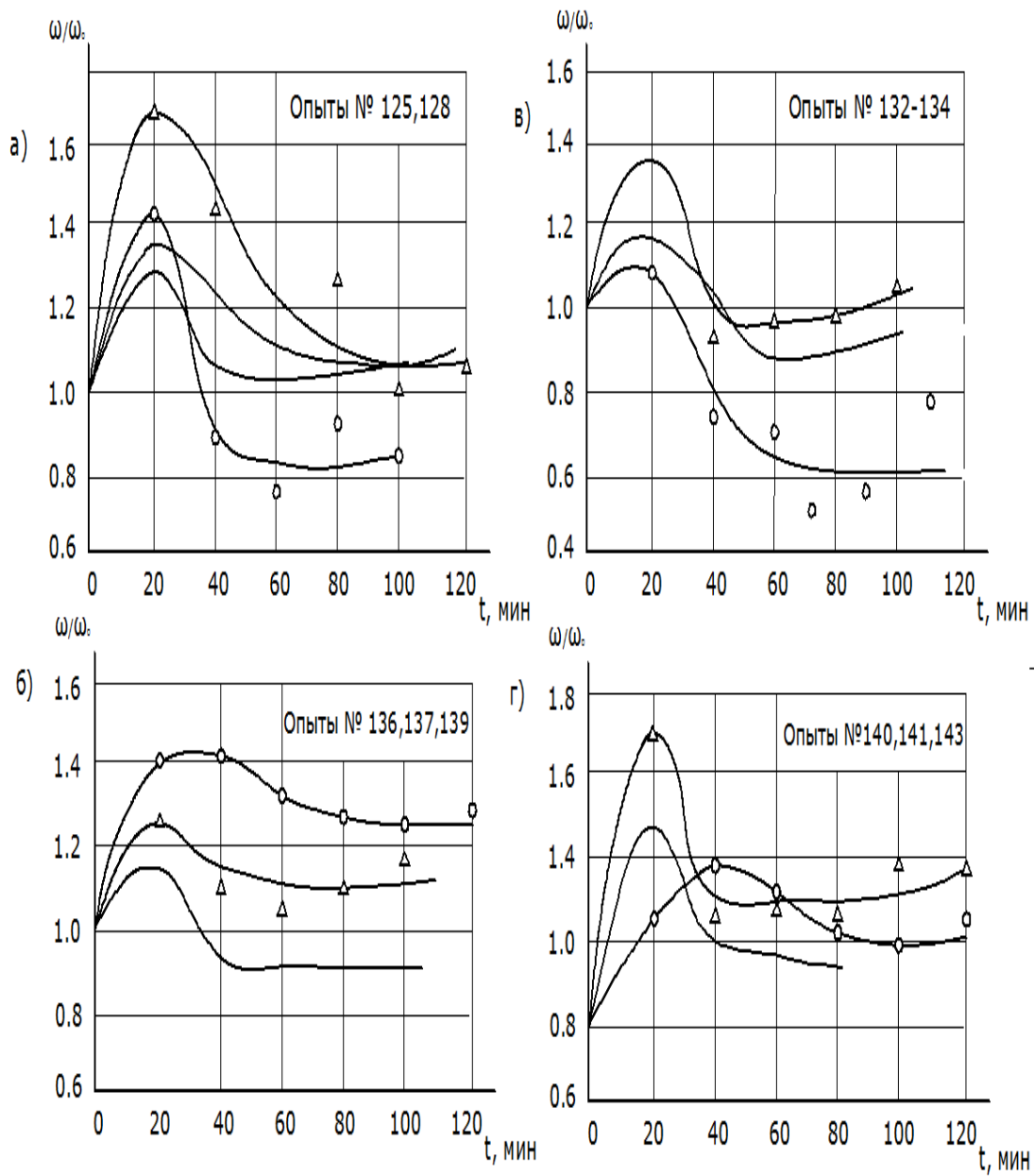
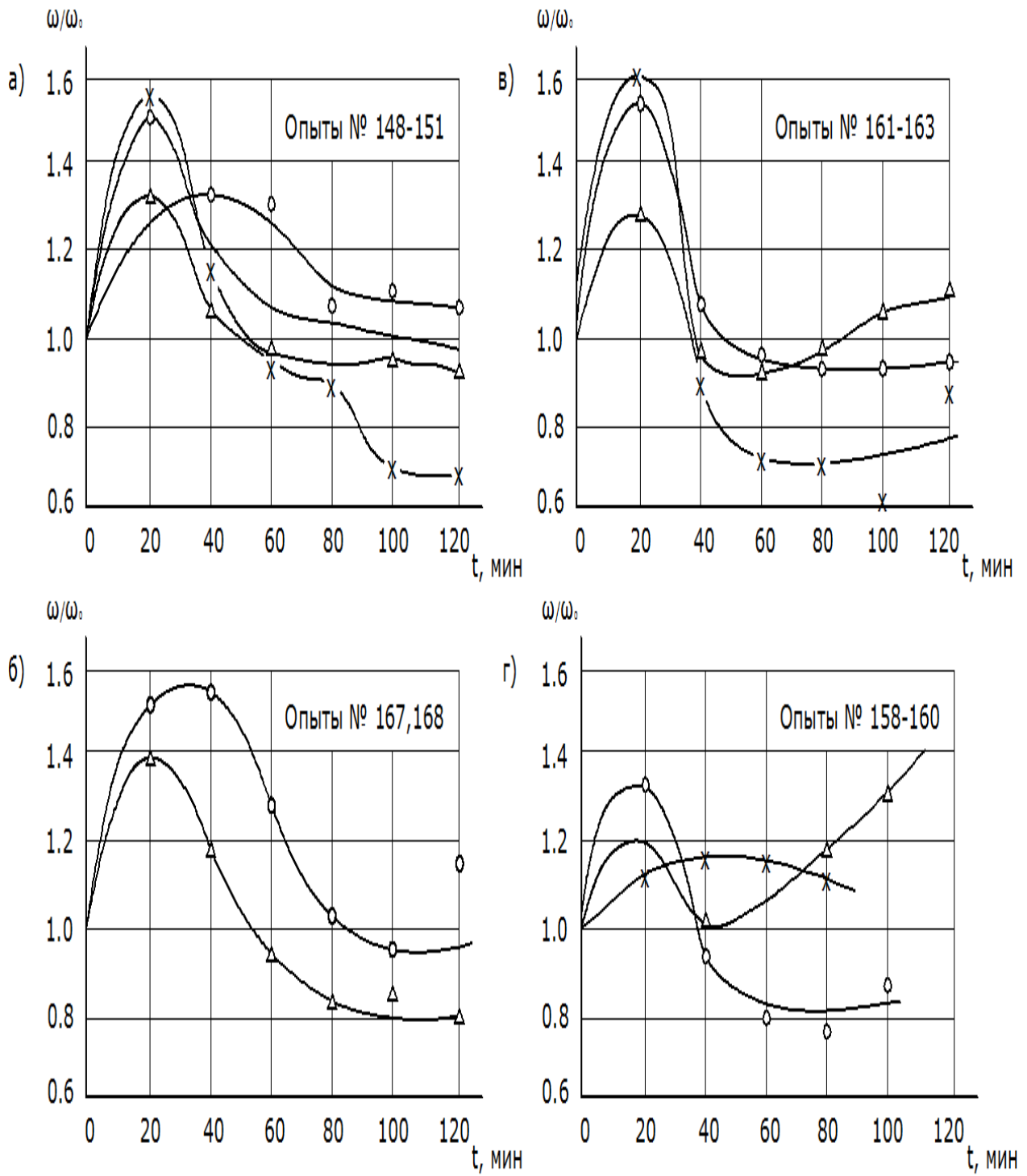


Рис. 4. Изменение удельной поверхности поровых каналов в процессе колюматации зернистой пористой среды:

*a, б* – суспензии глины, обработанная серноокислым алюминием;  
*в, г* – то же, с добавкой ПАА; *г* – суспензия глины, обработанная ВА-2.



**Рис. 5.** Изменение удельной поверхности поровых каналов в процессе коьматации зернистой пористой среды:  
*а, б* – искусственно – приготовленная цветная вода, обработанная серноокислым алюминием;  
*в, г* – вода р. Сходная, обработанная серноокислым алюминием.

Таким образом, экспериментально установлено, что в характерных условиях фильтрации на водоочистных фильтрах (фильтрация с постоянной скоростью через крупный песок обработанных коагулянт, малоконцентрированных суспензий, частицы которых образуют в порах загрузки сильногидратированные, малопрочные отложения) не происходит полной коагуляции фильтрующей среды [8].

Этот факт является прямым экспериментальным подтверждением фундаментальной гипотезы теории фильтрации малоконцентрированных суспензий Д.М. Минца о существовании предельной насыщенности порового пространства отложениями, величина которой существенно меньше 1.

Удельная поверхность поровых каналов.

Полученные данные изменения пористости и гидравлического сопротивления фильтрующей среды в процессе коагуляции позволили, используя зависимость 2-4, вычислить изменение величины удельной поверхности поровых каналов:

$$i/i_0 = (\omega/\omega_0)^2(m_0/m)^3. \quad (1)$$

На рис.4-6. представлены графики изменения удельной поверхности при заилинии фильтрующей среды. В различных условиях опытов характер кривых оставался неизменным: в начале процесса происходит увеличение (в 1,2-1,8 раза), затем снижение удельной поверхности поровых каналов, и при достижении предельного насыщения изменение удельной поверхности прекращается. При этом максимальное значение величины отношения  $\omega/\omega_0$  в наших опытах соответствовало значению насыщенности порового пространства 0,2-0,3, а величина конечного отношения  $\omega/\omega_0$  в одних опытах была несколько больше, в других несколько меньше единицы (в основном, от 0,8 до 1,2).

Подобный характер полученных кривых объясняется наличием двух тенденций в изменении удельной поверхности. С одной стороны отложения, прилипая к зернам загрузки увеличивают поверхность, омываемую потоком, а с другой стороны отложения на соседних зернах загрузки соединяются

между собой и уменьшают ее. В начале процесса заилиния преобладает первая тенденция, а по достижении определенного значения насыщенности порового пространства (в наших опытах 0,2-0,3) начинает преобладать вторая.

На характер кривых изменения  $\omega/\omega_0$  может также влиять неравномерность распределения осадка по высоте фильтрующего слоя. Для оценки роли этого фактора было поставлено несколько опытов с фильтрованием через слой загрузки высотой 1 см. Полученные результаты показали, что характер кривой изменения поверхности поровых каналов по сравнению с опытами, в которых высота слоя равна 3 см, не изменился (рис. 6). Следовательно, неравномерность отложения осадка по высоте не имеет существенного влияния на тенденцию изменения удельной поверхности в процессе коагуляции.

На рис.7. представлены графики изменения отношения  $\omega/\omega_0$ , построенные по осредненным данным для трех исследованных видов суспензий. Графики показывают, что вид фильтруемой суспензии не оказывал существенного влияния на характер формирования удельной поверхности поровых каналов в процессе коагуляции пористой среды.

Общая тенденция формирования геометрической структуры пористой среды при заилинии, в любом случае характеризуется увеличением удельной поверхности в начальной стадии заилиния и ее уменьшением до некоторой определенной величины в стадии предельной насыщенности. Однако параметры кривых изменения удельной поверхности не могут не зависеть от свойств фильтруемой суспензии, осадка и условий фильтрации: скорости фильтрации и диаметра зерен песка. Так, сравнение кривых изменения  $\omega/\omega_0$ , полученных в опытах с различной крупностью зерен фильтрующего материала, показывает, что значение величины  $\omega/\omega_0$  в стадии предельной насыщенности фильтрующей среды уменьшается с увеличением диаметра зерен загрузки (рис.8).

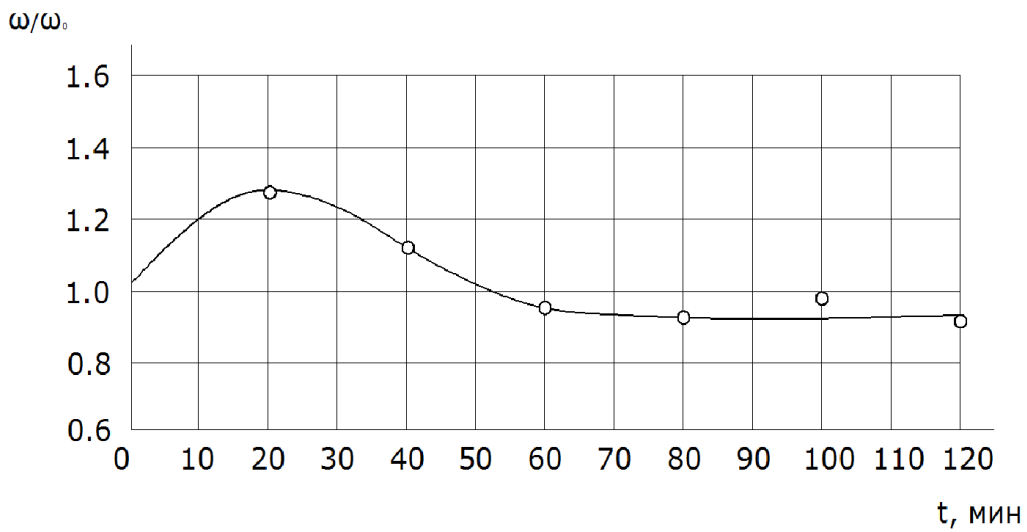


Рис. 6. Изменение удельной поверхности при фильтровании суспензии через односантиметровый слой песка.

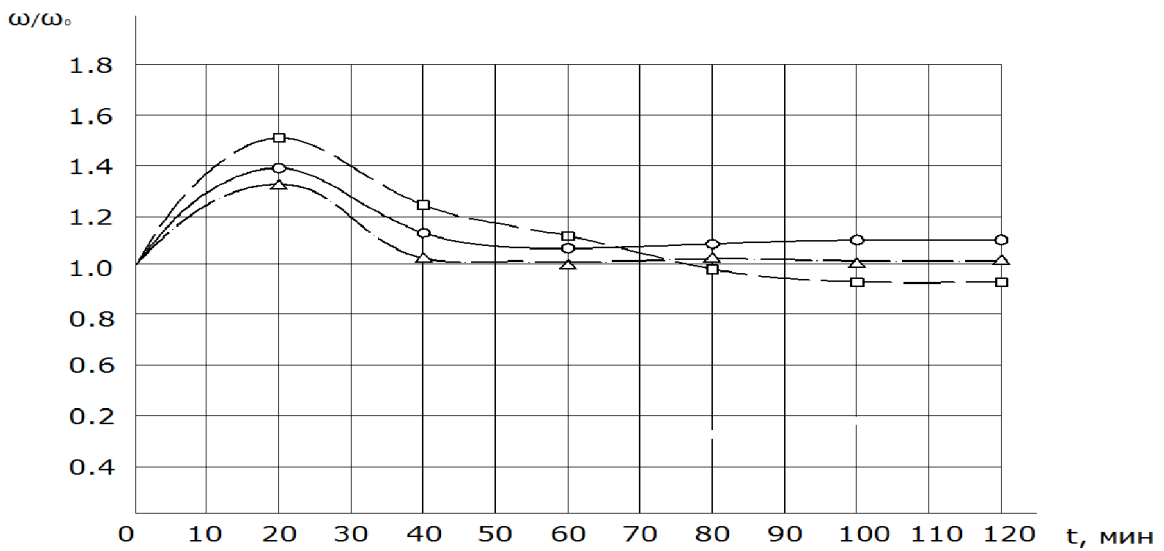


Рис. 7. Изменение удельной поверхности поровых каналов в процессе коагуляции пористой среды (осредненные значения):

- суспензия глины;
- - -□- - - суспензия торфяной вытяжки;
- - -△- - - мутно-цветная вода р. Сходная.

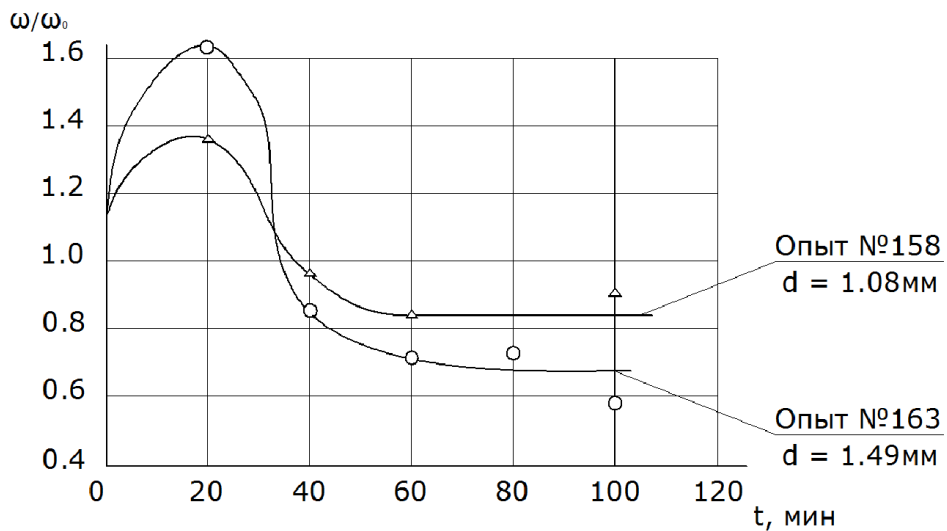
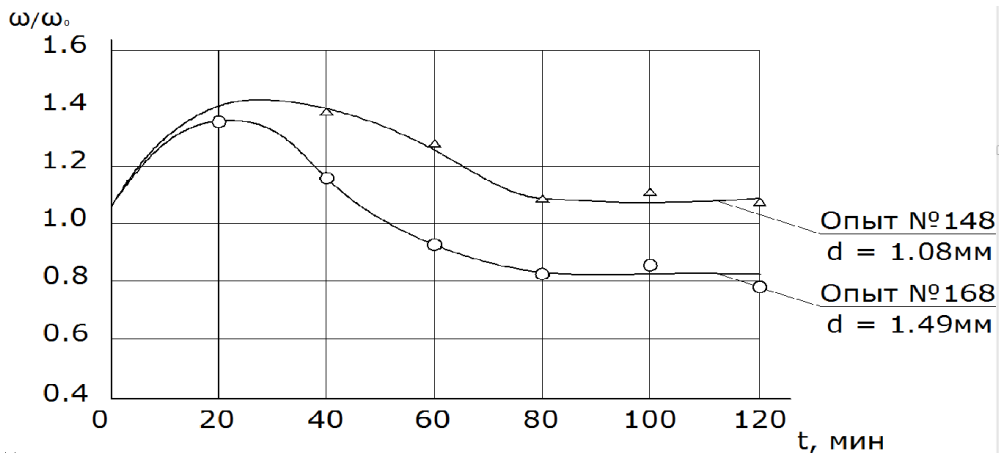
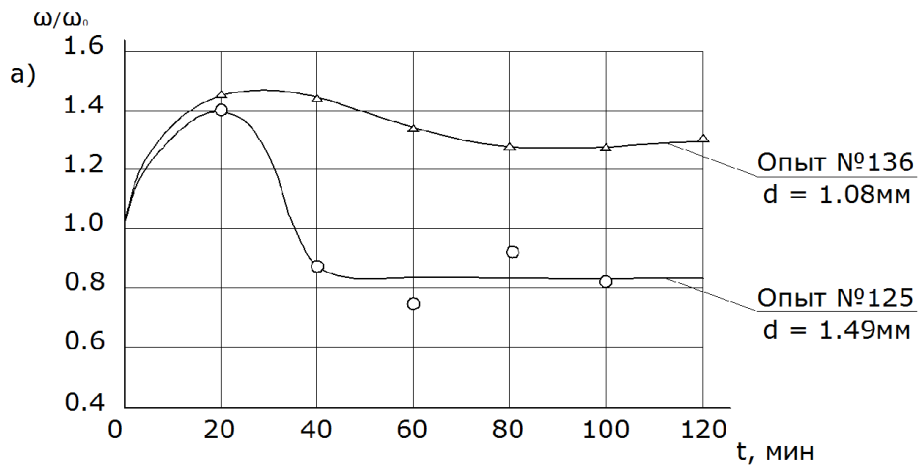


Рис. 8. Влияние размера зерен загрузки на изменение удельной поверхности при фильтровании:  
*a* – суспензия глины, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ ;  
*б* – цветная вода, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ ;  
*в* – вода р. Сходня, обработанная  $Al_2(SO_4)_3$ ;

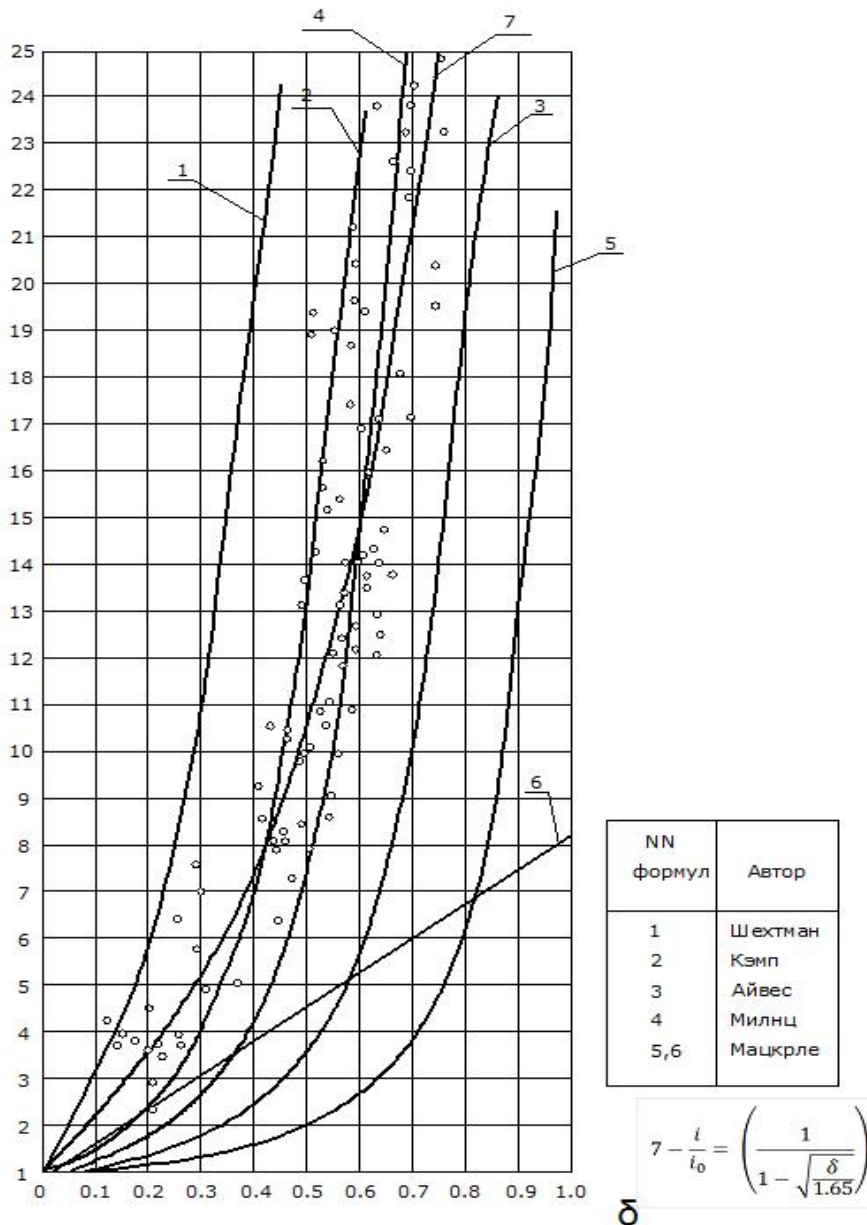


Рис. 9. Изменение гидравлического сопротивления в зависимости от насыщенности порового пространства отложениями.

**Литература:**

1. Mackrle V. The Theory of Rapid Filtration. Internati-onal Water Supply Congress, Barcelona, 1966.
2. Mintz D.M. Modern Theory of Filtration. Special Sub-ject No 10. International Water Supply Congress, Barcelona, 1966.
3. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М., Стройиздат, 1964.
4. Митин Б.А. Исследование влияния структурно-механических свойств осадка на работу осветлительных фильтров. Канд. диссертация. Челябинск, 1964.
5. Ives K.J., Pienvichitr V. Kinetics of the Filtration of Dilute Suspensions. Chemical Engineering Science, Vol. 20, 1965.
6. Минц Д.М., Шуберт С.А. Фильтры АКХ и расчет промывки скорых фильтров. – М.: Изд. МКХ РСФСР, 1951.
7. Минц Д.М. Кинетика фильтрации малоконцентрированных водных суспензий на водоочистных фильтрах. ДАН, т.8, №2, 1951.
8. Мельцер В.З. Исследование пористости зернистых фильтрующих материалов. Научные труды АКХ. Вып.98. "Водоснабжение", №9, ОНТИ АКХ, М., 1973г.

**Рецензент: к.т.н., доцент Токтогулов Т.С.**