

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА

© 2018 г. Р. Ф. Абдрахманов

Реферат. В статье рассматриваются фильтрационные свойства неоген-четвертичных глинистых отложений, их роль в формировании подземных вод в целом и в решении ряда практических задач, связанных с различными видами строительства, охраной подземных вод и пр. Полученные данные позволяют констатировать, что водопроницаемость глинистых пород определяется комплексом факторов, среди которых ведущая роль нередко принадлежит факторам, относящимся к категории вторичных, формирующих активную пористость и скважность: трещиноватость, наличие растительных остатков и пр. Сопоставление водопроницаемости пород с их пористостью и содержанием глинистых фракций свидетельствует об отсутствии четкой связи между этими параметрами. При фильтрации через глинистые породы минерализованных вод в результате процессов кристаллизации солей из минерализованных вод нередко происходит рост активной пористости пород, а следовательно — улучшение их фильтрационных свойств.

Ключевые слова: глинистые породы, фильтрационные свойства, техногенные изменения проницаемости пород, охрана подземных вод

FILTRATION PROPERTIES OF THE NEOGENE-QUATERNARY CLAY DEPOSITS AND THEIR CHANGES UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENESIS

R. F. Abdrakhmanov

Abstract. The article discusses filtering properties of the Neogene-Quaternary clay deposits, their role in the formation of groundwater in general and in solving a number of practical problems associated with various types of construction works, protection of groundwater, etc. The obtained data allow us to conclude that the permeability of clay is defined by a complex of factors, among which the leading role often belongs to the factors that are related to the category of secondary, forming the active porosity and permeability: fracturing, presence of plant remains, etc. Comparison of permeability of rocks, their porosity and clay content indicates the absence of a clear relationship between these parameters. In a process of filtration of mineralized water through clay rocks, crystallization of salts from mineralized water often results in a growth of active porosity of the rocks, and, consequently, in improvement of their filtration properties.

Keywords: clay rocks, filtration properties, technogenic changes of a permeability, protection of groundwater

Введение

Вопрос о проницаемости и гидрогеологической роли глинистых осадков изучен недостаточно и до сих пор является дискуссионным. Вместе с тем исследования в этой области необходимы

как для более обоснованных суждений о проблеме формирования подземных вод в целом, так и для решения ряда практических задач, связанных с различными видами строительства, охраной подземных вод и пр. [Абдрахманов, 1993, 2005; Абдрахманов, Попов, 1985, 1990; Попов, Абдрахманов, 2013].

Для цитирования: Абдрахманов Р.Ф. Фильтрационные свойства неоген-четвертичных глинистых отложений и изменение их под влиянием техногенеза // Геологический вестник. 2018. №2. С. 118–124. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9>.

For citation: Abdrakhmanov R.F. Filtration properties of the Neogene-Quaternary clay deposits and their changes under the influence of technogenesis // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 118–124. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9>.

В целом процесс фильтрации в них характеризуется большой сложностью. Долгое время господствовало мнение об абсолютной их водонепроницаемости, хотя еще в конце 40-х годов появились работы, свидетельствующие о том, что вертикальная фильтрация через глинистые толщи в определенных условиях может иметь значительные размеры [Мятнев, 1950]. И только в последнее время положение о региональной водонепроницаемости глинистых пород получило признание многих исследователей. Было установлено, что фильтрационные свойства глин являются динамичным параметром, зависящим от многих факторов (структурных, текстурных, минералогических, гидрогеологических, биогенных и др.).

От правильной оценки водонепроницаемости глинистых пород зависят результаты многих гидродинамических расчетов для обоснования гидротехнического и мелиоративного строительства, искусственного восполнения запасов подземных вод, удаления жидких промышленных отходов, охраны подземных вод от загрязнения и истощения.

Ионно-солевой комплекс глинистых пород, состоящий из растворимых минералов, поровых растворов и адсорбированных ионов — это подвижная литолого-гидрогеохимическая система, формирующаяся под влиянием седиментогенеза и эпигенетических процессов. Последние помимо природных взаимодействий включают и техногенные явления. Роль их особенно велика для самой верхней части зоны гипергенеза, где под влиянием деятельности человека существенно, часто коренным образом, преобразуется геохимическое состояние как подземных вод, так и вмещающих пород.

Материалы и методы исследования

Исследовались фильтрационные свойства четвертичных и неогеновых глинистых отложений, залегающих в пределах зоны аэрации и грунтовых вод, связанных главным образом с изысканиями под мелиоративное и гидротехническое строительство. Выполнено более тысячи полевых определений коэффициентов фильтрации (K_f) методом наливов и откачек из шурфов и скважин, также сотни лабораторных определений проницаемости глинистых пород, в частности проницаемости плиоценовых глин на больших лизиметрах (ГР-80) на водно-балансовой станции созданной под г. Уфа на Дмитриевской оросительной системе. Изучались мезозойско-кайнозойские отложения Предуралья и Южного Урала (включая коры выветри-

вания по палеозойским образованиям, а также техногенные глинистые грунты) в естественных условиях, а также в районах мощного техногенного влияния нефте- и горнодобывающих предприятий, крупных промышленно-урбанизированных агломераций и животноводческих комплексов. При этом анализировались минералогический состав, водорастворимые соли и адсорбированные ионы почвогрунтов зоны аэрации и первых от поверхности водоносных горизонтов зоны гипергенеза.

Глинистые породы в регионе занимают значительное место в разрезах различных стратиграфических подразделений плейстоцена. Среди четвертичных выделяются элювиально-делювиальные (edQ) и делювиальные (dQ) отложения, покрывающие чехлом мощностью от 1–3 до 10–15 м водоразделы и пологие склоны, перигляциальные ($pglQ$), озерные ($limQ$) и другие осадки, слагающие преимущественно верхние части террас (от 1–5 до 15–20 м) рек Камско-Бельского бассейна и западных притоков Урала. Элювиально-делювиальным суглинкам и глинам свойственно наличие дресвяно-щебнистого материала. В долинах рек глинистые породы более отсортированы по механическому составу. Содержание глинистых фракций в них возрастает от склонов долин к руслам рек. В этом же направлении, как правило, наблюдается и увеличение мощности глинистых пород.

Широко распространены глинистые отложения также в морском и континентальном среднем и верхнем акчагыле ($N_2^{3ak_{2-3}}$), а также в континентальном нижнем и среднем апшероне ($N_2^{3ap_{1-2}}$). В указанных стратиграфических подразделениях они обычно залегают в верхних частях разреза. На междуречных пространствах и склонах долин мощность акчагыльских глин достигает 20–25 м, а апшеронских суглинков — 5–10 м.

К югу от широты г. Стерлитамак неоген представлен миоценом (N_1), разрезы которого мощностью до 50 м также имеют существенно глинистый состав. Промежуточное возрастное положение между плиоценом и плейстоценом занимает общесыртовая свита ($N_2^3-Q_1$), являющаяся продуктом озерно-делювиальной аккумуляции. Она в основном сложена глинами и суглинками мощностью до 20–30 м и более, плащеобразно перекрывающими более древние отложения.

На водоразделах, а местами и на склонах молодые глинистые отложения всецело находятся в зоне аэрации; в долинах рек указанная зона охватывает только верхнюю часть разреза этих отложений.

Анализ водно-физических свойств глинистых пород свидетельствует о том, что содержание глинистых фракций (<0,001 мм) в них для различных генетических и стратиграфических подразделений следующее (%): элювиально-делювиальных четвертичных — 10–29 (в среднем 16–18), перигляциальных четвертичных — 12–32 (21–23), общесыртовых — 11–35 (25–27), акчагыльско-апшеронских — 20–38 (30–33). Остальная часть представлена пылеватыми и песчаными фракциями. Средняя пористость глинистых пород составляет 41,7–45,8%, плотность — 2,68–2,72 г/см³, объемная масса — 1,63–1,9 г/см³.

Термический и рентгено-дифракционный анализы глинистых осадков показали, что в них преобладают минералы групп монтмориллонита и гидрослюда (70–95%), то есть для них характерен смешаннослойный гидрослюдисто-монтмориллонитовый состав (табл.). Соотношение этих минералов обычно 1:3. В четвертичных отложениях содержание их достигает 70–80%, а в неогеновых — 90–95%. Другие минералы имеют подчиненное значение. Так, в четвертичных осадках присутствуют каолинит — до 20–25% (обычно 4–8%) и хлорит — до 18–20% (обычно 8–10%), в неогеновых — содержание каолинита <3–5%, хлорита <2–3%.

Обсуждение результатов исследований

Фильтрационные свойства глинистых покровных (неогеново-четвертичных) образований варьируют в широких пределах: для суглинков — от 0,07 до 1,5–2,0 м/сутки (в среднем 0,46–0,51), глин — от 0,01 до 1,2 м/сутки (в среднем 0,35–0,38). Сопоставление водопроницаемости пород с их пористостью и содержанием глинистых фракций свидетельствует об отсутствии четкой связи между этими параметрами [Абдрахманов, 1975].

Не наблюдается также зависимость проницаемости пород от их возраста и генезиса. Глинистые отложения плейстоцена и общесыртовской свиты из различных районов региона, подвергшиеся фильтрационным испытаниям, нередко имеют одинаковую водопроницаемость, в то время как внутри каждого из этих подразделений ее величина испытывает сильную изменчивость (рис. 1).

На отсутствие четкой зависимости коэффициента фильтрации в покровных отложениях от содержания в них глинистых частиц ранее указывала и Н.В. Роговская [1955]. Она отмечала, что при одном и том же механическом составе породы имеют различную величину коэффициента фильтрации, и наоборот, один и тот же коэффициент

Таблица

Минеральный состав глинистых пород Предуралья

Table

Mineral composition of clayey rocks of the Pre-Urals

Место отбора пробы, возраст, глубина отбора	Глинистые минералы, %			
	сметтит	гидрослюда	хлорит	каолинит
3 км С д. Чалмылы, <i>ed-pqlQ</i> , 1,5 м	60–65	25	8–9	3–4
5 км Ю с. Большееустьикинское, <i>dQ</i> , 1,5 м	60	20–23	8–10	8–10
0,7 км З д. Бартым, <i>dQ</i> , 1,5 м	50	20–25	нет	20–25
0,5 км В д. М. Накаряково, <i>dQ</i> , 1,5 м	75	20	нет	5–7
5 км СВ д. Силантьево, <i>dQ</i> , 1,5 м	75	20	нет	6–8
3 км СВ с. Жуково, <i>ed-pqlQ</i> , 1,5 м	55–60	25–30	8–9	4–5
7 км СВ с. Новоболтачево, <i>dQ</i> , 1,5 м	80	10–12	8–10	нет
3 км Ю. с. Базлык, <i>dQ</i> , 1,5 м	60	15	18–20	6–8
5 км ЮЗ д. Наумовка, $N_2^3-Q_1$, 1,5 м	60	25	7–8	6
3 км ЮЗ с. Новоселка, <i>dQ</i> , 1,5 м	75	10–12	8–10	4–6
1 км В д. Старотукмак, <i>dQ</i> , 1,5 м	60	25	8–10	4–5
2 км В д. Янаул, <i>pqlQ</i> , 1,5 м	50	30	12–14	4–6
5 км Ю. с. Субхангулово, <i>ed-pqlQ</i> , 1,5 м	60	25	10–12	4–6
3 км СВ с. Миякитамак, <i>ed-pqlQ</i> , 1,5 м	60	20	16–58	6–8
0,5 км СВ д. Тюляково, <i>pqlQ</i> , 1,5 м	70	10	12–14	6–8
п. Ясный (5 км С г. Уфы), $N_2^3-Q_1$, 10 м	70	15–17	2–3	5–7
Там же, N_{2ak_2} , 20 м	80–83	15	нет	3–5
Там же N_{2ak_2} , 39 м	80–85	10–15	нет	3–5

фильтрации отмечается у пород с различным механическим составом. Это свидетельствует о том, что при одном и том же исходном материале породы водопроницаемость ее может широко варьировать в зависимости от ряда других факторов, роль которых должна быть определена в каждом конкретном случае. Кроме того, причины, обуславливающие изменение водопроницаемости пород одного и того же генезиса и состава, с течением времени под влиянием физико-географических и техногенных факторов сильно меняются. Роль этих факторов часто более существенна, чем изменение механического состава породы.

Определенное значение в формировании водопроницаемости глинистых пород играют структурные вторичные изменения. В процессе натуральных наблюдений, при проходке шурфов хорошо видны следы движения воды на стенках трещин усыхания и морозного выветривания и пр. до глубины 3–4 м и более в виде гумусового налета. Глины и суглинки пронизаны большим количеством ходов землероев диаметром до 5–10 см, прослеживающихся до 3–4 м от поверхности, нередко до уровня грунтовых вод. Ходы эти заполнены хорошо водопроницаемыми грунтами и являются путями интенсивной миграции вод через зону аэрации.

Полученные данные позволяют констатировать, что водопроницаемость глинистых пород определяется комплексом факторов, среди которых ведущая роль нередко принадлежит факторам, относящимся к категории вторичных (эпигенетических), формирующих активную пористость и скважность: трещиноватость, наличие растительных остатков, ходы землероев и пр. Учесть все эти факторы фильтрационных свойств тех или иных пород на различных участках не всегда представляется возможным.

Изучение проницаемости суглинков и глин, как элювиально-делювиальных (на водоразделах), так и перигляциальных (в долинах), в условиях, где их мощность достигает 10–15 м,

показало уменьшение коэффициентов фильтрации с глубиной. Наибольшие их значения свойственны породам до глубины 3–4, реже 4–7 м. Ниже коэффициенты фильтрации снижаются в 2–5 раз, иногда на порядок и более.

При исследовании фильтрационных свойств глинистых покровных отложений необходимо учитывать, что грунты всех литологических разновидностей в естественном залегании имеют большую водопроницаемость, чем в монолитах, исследуемых в лаборатории. Величины коэффициентов фильтрации суглинков и глин, определенные лабораторными методами, на 1–2 порядка ниже тех значений, которые получены в результате полевых исследований. Это обстоятельство связано с недоучетом литологической (фильтрационной) неоднородности, свойственной породам в естественном залегании. Поэтому пользоваться лабораторными данными при решении практических задач следует с большой осторожностью. Несмотря на известное несовершенство полевых опытов, они дают более правильное представление о проницаемости глинистых пород, чем лабораторные.

Глинистые отложения плиоценового возраста по сравнению с четвертичными отложениями характеризуются несколько меньшими значениями коэффициента фильтрации. Проницаемость плиоценовых глин, оцененная полевыми методами, в зоне насыщения составляет 0,003–0,04 м/сутки,

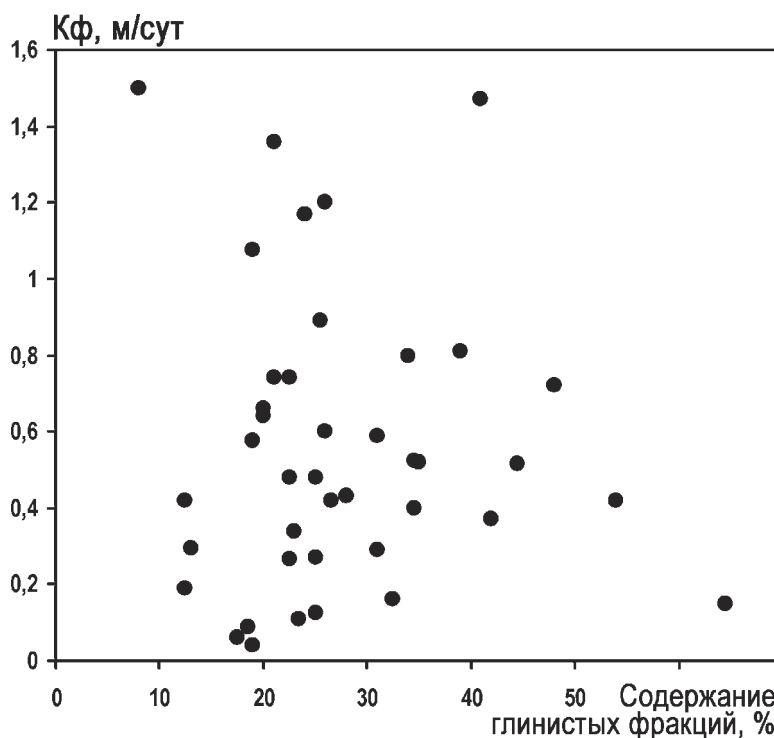


Рис. 1. Связь между проницаемостью глинистых пород и содержанием в них глинистых фракций

Fig. 1. The relationship between the permeability of clay rocks and the content of clay fractions

а в зоне аэрации увеличивается до 0,1–0,6 м/сутки. Для них характерны значительная уплотненность и наличие более прочных связей между глинистыми частицами, а также преобладание последних в породе (до 80–90%).

Влияние техногенеза на фильтрационные свойства глинистых пород

Изменение структуры и геохимических условий глинистых пород, включая их фильтрационные свойства, изучено при утилизации стоков с минерализацией (M) 170 г/дм³ Стерлитамакского содовоцементного комбината (СтСЦК), ныне АО «Башкирская содовая компания» (АО БСК), близких по влиянию к нефтепромышленным стокам (M 250–290 г/дм³).

Фильтрационные свойства глинистых отложений, в отличие от пресных вод, при фильтрации *Cl-Ca* рассолов увеличиваются в 1,5–2 раза, а *Cl-Na* — до 5–10 раз. Особенно резко увеличивается проницаемость монтмориллонитовых глин (в 10 раз и более), и в меньшей степени — каолинитовых. Кроме того, и T фильтрующейся воды влияет на проницаемость глин. Рост T от 20 до 30 °C увеличивает проницаемость монтмориллонитовых глин в 10, иногда в 100 раз [Гольдберг, Скворцов, 1986]. В целом в зависимости от состава глинистых минералов проницаемость глин в интервале T 20–90 °C увеличивается на порядок и больше.

На Южном Урале и в Предуралье глинистые грунты довольно широко используются для устройства противofильтрационных экранов в прудах-накопителях, отстойниках для жидких отходов химической, нефтяной, горной промышленности и сельского хозяйства. Отходы и стоки эти представляют собой хлоридные рассолы с M от 5–10 до 150–250 г/дм³. При проектировании этих и им подобных сооружений следует иметь в виду, что степень проницаемости глинистых пород при фильтрации минерализованных растворов значительно выше (до 10 раз и более) по сравнению с пресными водами [Кульчицкий, Гольдберг, 1969; Абдрахманов, Попов, 1985]. Основной прирост значений проницаемости наблюдается в области концентраций до 10–30 г/дм³. Кроме того, проницаемость глинистых пород меняется с течением времени. Это связано с особенностью глинистых минералов разбухать и закупоривать поровое пространство при взаимодействии с пресной водой. При фильтрации же через глинистые породы минерализованных вод это явление развито в значительно

меньшей степени. Более того, в результате процессов кристаллизации солей из минерализованных вод нередко происходит рост активной пористости пород, а следовательно, улучшение их фильтрационных свойств.

Структурные и фильтрационные изменения глинистых грунтов довольно детально изучены в шламонакопителях («Белых морях») АО «БСК», расположенного на первой надпойменной террасе р. Белой. В качестве противofильтрационного здесь принят глинистый экран. Химический состав фильтрующихся стоков (дистиллерной жидкости) АО БСК хлоридный натриево-кальциевый, с M 170 г/дм³. Как показали исследования [Мосьяков, Мерков, 1976], глинистый экран нарушенной структуры и подстилающие его грунты в шламонакопителях находятся во взаимодействии с фильтрующимися растворами.

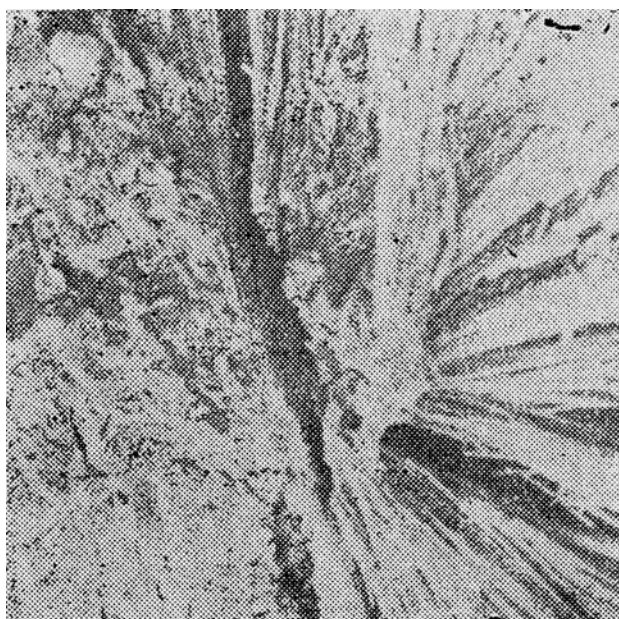
Глинистый экран создавался из местных четвертичных тяжелых суглинков мощностью 0,4 м, плотностью объема веса скелета 1,55–1,60 г/см³ при влажности 25–30% с коэффициентом пористости <0,8. Ниже экрана залегают четвертичные перигляциальные суглинки и глины мощностью 2–3 м. В процессе эксплуатации шламонакопителя шло обогащение солями глинистого экрана и подстилающих суглинков.

При многолетних сроках эксплуатации в глинистых экранах происходят структурные изменения за счет роста кристаллов солей на поверхности глинистых частиц и в поровом пространстве. А это, в свою очередь, приводит к изменению фильтрационных свойств глинистого экрана. Установлено, что количественное содержание водорастворимых солей в глинистом экране и подстилающих четвертичных грунтах имеет тесную корреляционную связь с коэффициентом пористости. Изменение пористости глинистого экрана и подстилающих суглинков связано с процессами кристаллизации солей (рис. 2).

Рост кристаллов солей, находящихся в ограниченном поровом пространстве, создает значительное кристаллизационное давление, которое раздвигает минеральную скелетную часть грунта, увеличивая его пористость. В поровом пространстве образуются кристаллы $CaCl_2$ и $NaCl$. С увеличением пористости сильно возрастает проницаемость глинистых пород (рис. 3). Естественно, при этом происходит не только засоление пород зоны аэрации непосредственно под дном шламонакопителя, но и загрязнение хлоридными солями вод аллювиального горизонта р. Белой (M 30–50 г/дм³).

Рис. 2. Структура глинистого экрана после 17-летнего срока эксплуатации пруда-накопителя стоков ОАО «Сода» (электронно-микроскопический снимок, $\times 1000$)

Fig. 2. The structure of the clay screen after the 17-year service life of the "Soda" OJSC pond-storage (electron microscope snapshot, 1000's increase)



С начала эксплуатации прудов-накопителей коэффициент фильтрации суглинков под глинистым экраном повысился в среднем в 10 раз. Особенно сильно изменилась фильтрационная способность нарушенных грунтов глинистого экрана: за 2-годовой срок эксплуатации коэффициент пористости увеличился в 1,2 раза, коэффициент фильтрации — в 10 раз, за 4-годовой — соответственно в 1,4 и в 130 раз, за 7-летний — в 1,7 раза и в 180 раз, за 17-летний — в 2,1 раза и в 5300 раз.

Расчеты методом моделирования показали, что влияние подземного стока в результате фильтрации сточных вод из «Белых морей» АО БСК на качество речных вод ($0,2 \text{ г/дм}^3$) вполне соизмеримо с влиянием поверхностных источников загрязнения ($0,13 \text{ г/дм}^3$). Это подтверждает необходимость прогнозирования количества солей, поступающих в р. Белую с грунтовыми водами при разработке мероприятий по защите реки от загрязнения [Попов, Абдрахманов, 2013].

Заклучение

Полученные данные позволяют констатировать, что водопроницаемость глинистых пород по своей природе является величиной случайной, зависящей от суммы факторов, формирующих активную пористость и скважность. Учесть все эти факторы при прогнозировании фильтрационных свойств тех или иных пород на различных

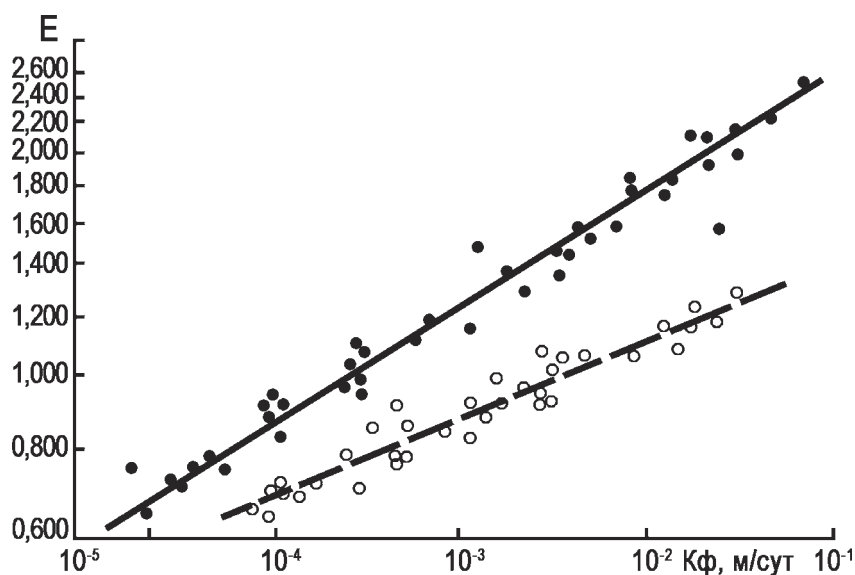


Рис. 3. Зависимость между коэффициентами пористости (E) и фильтрации (K_f) глинистого экрана (черные кружки) и четвертичных грунтов (белые кружки)

Fig. 3. Dependence between the coefficients of porosity (E) and filtration (K_f) of a clay screen (black circles) and Quaternary soils (white circles)

участках не всегда представляется возможным. Более того, степень проницаемости глинистых пород при фильтрации минерализованных растворов значительно выше (в десятки и сотни раз) по сравнению с пресными водами. Результаты исследований по водопроницаемости глинистых пород ставят под сомнение возможность широкого использования их в качестве противofiltrационных завес при строительстве очистных и др. сооружений.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф. О фильтрационных свойствах глинистых четвертичных отложений Западной Башкирии // Геология и полезные ископаемые Южного Урала. — Уфа: БФАН СССР, 1975. — С. 80–81.

Абдрахманов Р.Ф. Техногенез в подземной гидросфере Предуралья / УНЦ РАН. — Уфа, 1993. — 208 с.

Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. — Уфа: Информреклама, 2005. — 344 с.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Гидрогеология Южного Предуралья. — Уфа: БФАН СССР, 1985. — 124 с.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Формирование подземных вод Башкирского Предуралья в условиях техногенного влияния. — Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. — 120 с.

Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. — М.: Недра, 1986. — 160 с.

Кульчицкий Л.И., Гольдберг В.М. Влияние минерализации воды на фильтрационные свойства песчано-глинистых пород // Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промышленных стоков. — М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1969. — С. 6–22.

Мосьяков Е.Ф., Мерков Ю.Б. Структурные и фильтрационные изменения глинистых грунтов в шламонакопительях Стерлитамакского содово-цементного комбината // Стратиграфия и корреляция плиоцена и плейстоцена Предуралья. — Уфа: БФАН СССР, 1976. — С. 79–84.

Мятев А.Н. Теория напорного движения подземных вод к колодцам // Изв. Туркм. фил. АН СССР. — 1950. — № 1. — С. 40–48.

Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии. — Уфа: Гилем, 2013. — 356 с.

Роговская Н.В. Опыт фильтрационных исследований на массивах орошения. — Советская геология. — 1955. — № 44. — С. 34–46.

Сведения об авторе:

Абдрахманов Рафил Фазылович, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru.

About the author:

Abdrakhmanov Rafil Fazilovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRS RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

References:

Abdrakhmanov R.F. O fil'tracionnykh svoystvakh glinistykh chetvertichnykh otlozhenij Zapadnoj Bashkirii [On filtration properties of the clayey Quaternary sediments of Western Bashkiria] // Geologija i poleznye iskopaemye Juzhnogo Urala [Geology and minerals of the Southern Urals]. Ufa BFAN SSSR Publ., 1975. P. 80–81 (In Russian).

Abdrakhmanov R.F. Tehnogenез v podzemnoj gidrosfere Predural'ja [Technogenesis in the underground hydrosphere of the Pre-Urals] / UNC RAN. Ufa, 1993. 208 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F. Gidrogeoeologija Bashkortostana [Hydrogeoeology of Bashkortostan]. Ufa, Informreklama Publ., 2005. 344 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Gidrogeologija Juzhnogo Predural'ja [Hydrogeology of the Southern Pre-Urals]. Ufa, BFAN SSSR Publ., 1985. 124 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Formirovanie podzemnykh vod Bashkirskogo Predural'ja v uslovijah tehnogennoгo vlijanija [Formation of underground waters of the Bashkirian Pre-Urals in conditions of technogenic influence]. Ufa, BNC UrO AN SSSR Publ., 1990. 120 p. (In Russian).

Gol'dberg V.M., Skvorcov N.P. Pronicaemost' i fil'tracija v glinah [Permeability and filtration in clays]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 160 p. (In Russian).

Kul'chickij L.I., Gol'dberg V.M. Vliyanie mineralizacii vody na fil'tracionnye svoystva peschano-glinistykh porod [The influence of mineralization of water on the filtration properties of sandy-argillaceous rocks] // Gidrogeologicheskie voprosy podzemnogo zahoronenija promyshlennykh stokov [Hydrogeological issues of underground disposal of industrial wastewater]. Moscow, VSEGIN GEO Publ., 1969. P. 6–22 (In Russian).

Mos'jakov E.F., Merkov Ju.B. Strukturnye i fil'tracionnye izmenenija glinistykh gruntov v shlamonakopitel'nykh Sterlitamak-skogo sodovo-cementnogo kombinata [Structural and filtration changes in clay soils in the sludge collectors of the Sterlitamak Soda-Cement Industrial complex] // Stratigrafija i korrelyacija pliocena i plejstocena Predural'ja [Stratigraphy and correlation of the Pliocene and Pleistocene of the Pre-Urals]. Ufa, BFAN SSSR Publ., 1976. P. 79–84 (In Russian).

Mjatiev A.N. Teoriya napornogo dvizheniya podzemnykh vod k kolodcam [Theory of pressure movement of groundwater to wells]. Turkm. fil. AN SSSR Publ. 1950. No 1. P. 40–48 (In Russian).

Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Ionoobmennaya koncepcija v geneticheskoj gidrogeohimii [Ion exchange concept in genetic hydrogeochemistry]. Ufa, Gilem Publ., 2013. 356 p. (In Russian).

Rogovskaja N.V. Opyt fil'tracionnykh issledovanij na massivah oroshenija [Experience in filtration studies on irrigation fields]. — Sovetskaja geologija [Soviet geology]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1955. Iss. 44. P. 34–46 (In Russian).