

УДК 622.342

## **Результаты исследования скорости и объема водонасыщения глинистых песков россыпных месторождений при их подготовке к обогащению**

**А.В. Никитин, В.Е. Кисляков**

*Сибирский федеральный университет,  
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79<sup>1</sup>*

Received 16.11.2009, received in revised form 03.12.2009, accepted 18.12.2009

---

*Доказывается возможность производить водонасыщение глинистых песков в процессе подготовительных работ при разработке россыпных месторождений в виде отдельностей, после выемки их из массива с помощью землеройно-транспортной техники, в специально организованном промежуточном складе. Предложена методика определения скорости и объема водонасыщения отдельностей, выявлена степень влияния диаметра отдельностей, коэффициентов разрыхления, трещиноватости, фильтрации. Так, например, увеличение диаметра отдельностей на 0,05 м до 0,50 м может увеличить время достижения 10 % влажности с 0,2 до 8,3 сут. при регулировании коэффициентов разрыхления и трещиноватости.*

*Ключевые слова: россыпные месторождения, подготовительные работы, глинистые пески, водонасыщение, отдельности.*

---

### **Введение**

До недавнего времени доля подготовительных работ при открытой разработке месторождений полезных ископаемых составляла от 5 до 40 % в зависимости от горно-геологической характеристики месторождения и принятой технологии, а также в отсутствие факторов, осложняющих работы. Такими факторам, при современной разработке россыпных месторождений, являются: значительная обводненность, высокое содержание глины, наличие сплошной или островной мерзлоты, что увеличивает долю подготовительных работ.

В теории и практике подготовительных работ при разработке россыпных месторождений широко известны способы подготовки массива песков водонасыщением [2, 3]. Эти способы следует считать одним из важных технологических этапов в силу того, что подготовка осуществляется в месте залегания без выемки и транспортировки песков к обогатительным приборам, а также в связи с развитием технологий извлечения ценного компонента непосредственно из массива.

В то же время их отличает общий значимый недостаток – неэффективны при подготовке массива с глинистыми включениями, которым соответствует минимальный коэффициент

---

\* Corresponding author E-mail address: rosau@rol.ru

<sup>1</sup> © Siberian Federal University. All rights reserved

фильтрации. Увеличение доли содержания глин характеризуется минимизацией эффективности водонасыщения массива.

Во избежание отмеченного недостатка была рассмотрена возможность водонасыщения глинистых песков в виде отдельностей, после выемки из массива с помощью землеройно-транспортной техники, в специально организованном промежуточном складе.

Отдельностью является характерная форма кусков горных пород, образующаяся в результате естественного или искусственного разрушения этих пород. В рассматриваемом случае под отдельностью понимается кусок глинистых песков определенной размерности, полученный в результате разработки массива землеройно-транспортной техникой.

Базовая технологическая цепочка будет включать в себя первичную выемку глинистых песков из массива, их транспортирование и складирование в промежуточный склад в виде отдельностей. В качестве промежуточного склада может быть использована существующая или специально подготовленная технологическая емкость в контуре ведения горных работ, предназначенная для размещения и водонасыщения установленного объема глинистых песков. Вторичная выемка песков производится из-под воды с подачей на обогащение.

Для получения начальных зависимостей при определении скорости и объема водонасыщения приведенной формой отдельности примем форму шара.

Один кубический метр глинистых песков, размещенных в промежуточном складе, суммируется из общего объема  $n$  глинистых отдельностей и объема пустот  $V_{II}$ , заполненных водой:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot n + V_{II}, \text{ м}^3. \quad (1)$$

Тогда количество глинистых отдельностей в 1 м<sup>3</sup> песков определяется из уравнения

$$n = 1,911 \cdot \frac{1 - V_{II}}{D^3}, \text{ шт.}, \quad (2)$$

где  $D$  – средний диаметр отдельностей глинистых песков, м.

Площадь поверхности глинистых отдельностей в 1 м<sup>3</sup> песков:

$$S_k = \pi \cdot D^2 \cdot n, \text{ м}^2. \quad (3)$$

Объем водонасыщения (количество воды, «проникшее» в глинистые отдельности) за период времени  $T$ :

$$V_g = \frac{1}{2} \cdot (S_k + S_2) \cdot K_\phi \cdot T \cdot K_{mp} = \frac{1}{2} \cdot (S_k + S_2) \cdot h_c \cdot K_{mp}, \text{ м}^3; \quad (4)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации в отдельностях глинистых песков, м/сут.;  $T$  – продолжительность водонасыщения отдельностей, сут.;  $K_{mp}$  – коэффициент трещиноватости отдельностей;  $S_2$  – площадь поверхности неводонасыщенной среды внутри отдельности на конец времени  $T$ , м<sup>2</sup>;  $h_c$  – глубина проникновения воды в глинистой отдельности за время  $T$ , м.

$$S_2 = \pi \cdot (D - 2 \cdot h_c)^2 \cdot n, \text{ м}^2. \quad (5)$$

Также возможен вариант расчета объема водонасыщения отдельностей через их диаметры, но недостатком такого способа является то, что он применим только для шарообразной формы и не учитывает особенности поверхности, в то время как предложенные формулы применимы для отдельностей со сложной поверхностью.

В результате был сделан вывод о том, что объем и скорость водонасыщения глинистых отдельностей определяются временем водонасыщения, средним диаметром отдельностей, их трещиноватостью и коэффициентом фильтрации. Определение зависимостей данных параметров явилось объектом дальнейших исследований.

### **Исследование влияния диаметра отдельностей глинистых песков на скорость и объем водонасыщения**

Для определения исследуемого интервала значений диаметра глинистых отдельностей после их выемки из массива и подачи для подготовки водонасыщением были проведены натурные наблюдения на участке горных работ «р. Большая Мурожная» ООО «Артель старателей Ангара-Север». В качестве выемочной техники для наблюдений были выбраны бульдозер Komatsu D355A (рис. 1) и драглайн ЭШ 6.45 (рис. 2).

Результаты наблюдений позволили определить исследуемый интервал значений диаметра глинистых отдельностей от 0,05 м до 0,5 м с шагом в 0,05 м. Также удалось отметить, что изменение диаметра отдельностей в отвале при работе выемочной техники определяется толщиной срезаемой стружки, числом пластичности разрабатываемого материала и его влажностью.

На основе разработанной методики определения скорости и объема водонасыщения отдельностей глинистых песков с использованием программных средств MS Excel была выполнена многофакторная модель определения скорости и объема водонасыщения.

Полученная модель позволила выявить зависимости и проследить изменение объема и скорости водонасыщения при регулировании ряда параметров: диаметра отдельностей, коэффициентов фильтрации, трещиноватости и др.

Представленные на рис. 3-6 графики отражают влияние диаметра отдельностей на основные технологические параметры процесса подготовки: скорость и объем водонасыщения.

Как видно на рис. 3, количество отдельностей в единице объема в большей степени зависит от их диаметра и в меньшей – от объема пустот между отдельностями. Влияние диаметра отдельностей на их количество иллюстрируют граничные значения полученных результатов: в интервале диаметров от 0,05 до 0,50 м их количество составляет от 13 759 до 11 шт. соответственно.

Из графиков на рис. 4 видно, что, равно как и диаметр отдельностей, объем пустот между ними оказывает значительное влияние на площадь свободной поверхности отдельностей в единице объема. Так, при рассмотрении куска диаметром 0,05 м при изменении объема пустот от 0,1 до 0,3 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> площадь свободной поверхности уменьшается со 108 до 84 м<sup>2</sup>, что соответствует разнице в 22 %.

Использование для расчетов объема водонасыщения формулы 4 позволяет моделировать результаты при любых значениях коэффициентов фильтрации и трещиноватости, что определяет многообразие возможных результатов. При исследовании влияния диаметра отдельностей на объем водонасыщения коэффициент трещиноватости был принят неизменным и равным



Рис. 1. Отвал глинистых песков после выемки бульдозером Komatsu D355A



Рис. 1. Отвал глинистых песков после выемки драглайном ЭШ 6.45

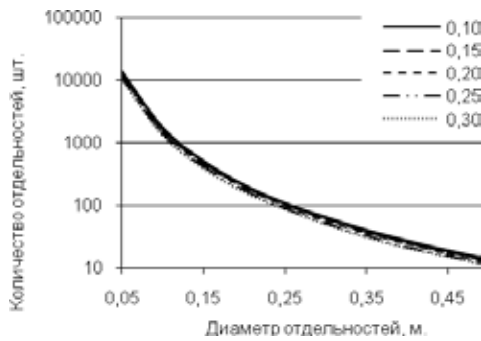


Рис. 3. Изменение количества глинистых отдельностей в  $1 \text{ м}^3$  в зависимости от их диаметра и объема пустот, заполненных водой

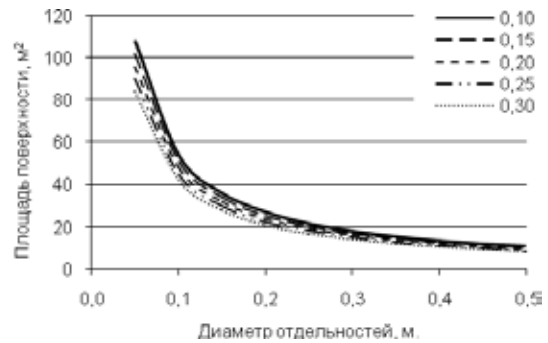


Рис. 4. Изменение площади поверхности глинистых отдельностей в  $1 \text{ м}^3$  в зависимости от их диаметра и объема пустот, заполненных водой

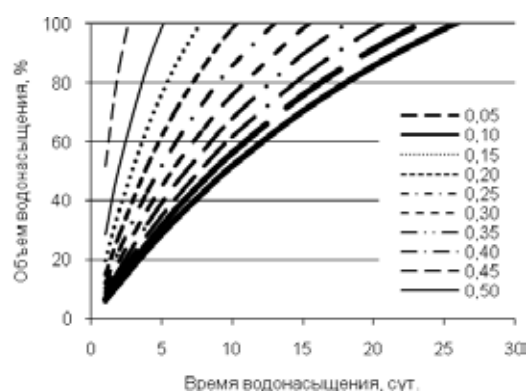
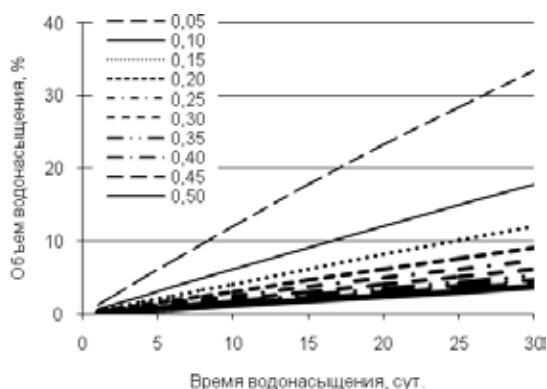


Рис. 5. Объем водонасыщения глинистых отдельных в зависимости от времени водонасыщения и их диаметра при коэффициенте трещиноватости 1,05 и коэффициенте фильтрации 0,0001 м/сут.

Рис. 6. Объем водонасыщения глинистых отдельных в зависимости от времени водонасыщения и их диаметра при коэффициенте трещиноватости 1,05 и коэффициенте фильтрации 0,005 м/сут.

1,05, а коэффициент фильтрации для наглядности результатов составляет 0,0001 м/сут. (рис. 5) и 0,005 м/сут. (рис. 6).

Роль диаметра отдельных глинистых песков на показатели водонасыщения определена на основании изменения скорости водонасыщения отдельных при достижении установленного значения влажности.

Для расчетной модели, условия и результаты которой представлены на рис. 5, установили значение объема водонасыщения для наблюдений равное 10 %. Отдельности диаметром 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45 и 0,50 м достигают этой границы за 8; 17; 24; 32; 39; 47; 55; 63; 71 и 78 суток соответственно. Из рис. 5 видно, что увеличение диаметра отдельности на 0,05 м при коэффициенте фильтрации, равном 0,0001 м/сут., приводит к увеличению времени водонасыщения в среднем на 8 сут.

Рассмотрим результаты аналогичной модели при коэффициенте фильтрации 0,005 м/сут., данные которой иллюстрирует рис. 6. Установленный для наблюдений объем водонасыщения, равный 50 %, при тех же диаметрах отдельностей достигается за время в интервале от 1 до 10 сут. с шагом – 1 сут.

Анализ результатов моделирования объема и времени водонасыщения в зависимости от диаметра отдельных глинистых песков показал существенную роль последнего при низких значениях коэффициента фильтрации. Увеличению коэффициента фильтрации соответствует рост скорости водонасыщения и снижение роли диаметра отдельных.

Обозначим приращение времени водонасыщения от увеличения диаметра отдельности глинистых песков от 0 до 0,5 м с шагом в 0,05 м –  $\Delta T$ . И, аналогично описанному способу, получим значения  $\Delta T$  в зависимости от коэффициента фильтрации и заданной границы объема водонасыщения при неизменных коэффициенте трещиноватости, равном 1,05, и объеме пустот между отдельностями – 0,1 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Результаты расчетов представлены в табл. 1 и иллюстрированы на рис. 7.

Таким образом, можно заключить, что переход в процессе водонасыщения глинистых песков от массива к отдельностям позволяет рассматривать его как эффективный способ подготовки к последующему обогащению, а управление диаметром отдельных глинистых песков

Таблица 1. Значения  $\Delta T$  (сут.) в зависимости от коэффициента фильтрации и объема водонасыщения отдельных глинистых песков

$K_f$ , м/сут.	Объем водонасыщения отдельностей, %				
	10	20	30	40	50
0,005	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9
0,0025	0,3	0,7	1,1	1,5	1,9
0,001	0,8	1,7	2,6	3,6	4,8
0,00075	1,1	2,2	3,5	4,8	6,3
0,0005	1,7	3,3	5,2	7,3	9,5
0,00025	3,3	6,6	10,4	14,5	19,0
0,0001	8,3	16,6	26,0	36,2	47,4

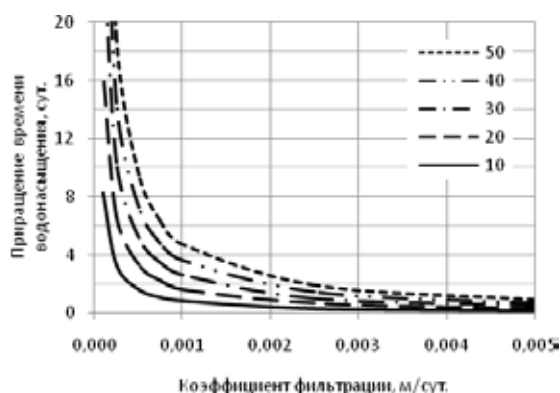


Рис. 7. Графики  $\Delta T$  в зависимости от коэффициента фильтрации и объема водонасыщения (%) отдельностей глинистых песков

является важной технологической задачей, оказывающей непосредственное влияние на скорость и объем водонасыщения. Одновременно с диаметром отдельностей необходимо учитывать изменение коэффициента их фильтрации, снижение которого увеличивает роль диаметра отдельностей при определении скорости и объема их водонасыщения.

### Исследование влияния трещиноватости отдельностей глинистых песков на скорость и объем их водонасыщения

Учитывая очень низкие фильтрационные свойства глин, популярно утверждение о том, что скорость фильтрации воды в глинистом массиве обусловлена, главным образом, наличием в них трещин.

Возникновение крупных трещин, как правило, связано с тектоническими процессами в массиве или динамическим воздействием на глинистые отдельности, например, в результате экскавации или транспортирования. Проницаемость этих трещин значительно выше проницаемости монолитного глинистого блока, и при наличии таковых их роль в процессах водообмена очевидна, что в очередной раз подчеркивает преимущество водонасыщения отдельностей по сравнению с массивом. Однако необходимо отметить, что трещиноватость в глинах и трещиноватость в скальных породах – разные понятия. Трещины в глинах – это ослаблен-

ные (по прочностным показателям) зоны с нарушенной структурой, представленные той же тонкодисперсной глинистой фракцией, иногда перемешанной с песком. Но данное заключение справедливо лишь для верхней части глинистого массива и для отдельностей, поскольку с глубиной, а следовательно, и с ростом геостатических давлений роль этих трещин в процессе фильтрации будет снижаться.

Основной причиной формирования трещин являются попеременное усыхание и увлажнение, изменение температурного режима и напряженного состояния глинистых пород. Установлено, что развитие трещин зависит от ориентации глинистых частиц, химического взаимодействия минеральных зерен с водой, наличия растворимых солей и цементирующих добавок.

Сопrotивление глин растягивающим усилиям, соответственно, их предрасположенность к трещинообразованию зависит также от толщины водных слоев в контактах, изменяющейся в зависимости от плотности и влажности грунта [1].

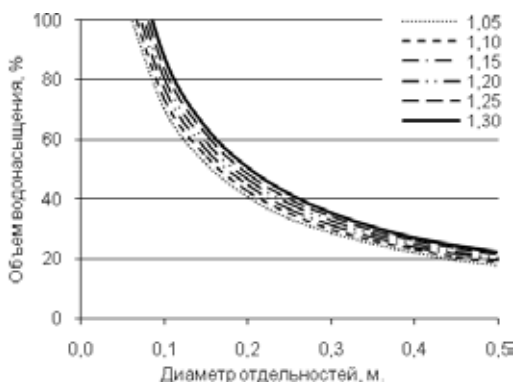


Рис. 8. Объем водонасыщения глинистых отдельностей в зависимости от их диаметра и трещиноватости при коэффициенте фильтрации 0,005 м/сут. и времени водонасыщения 3 сут.

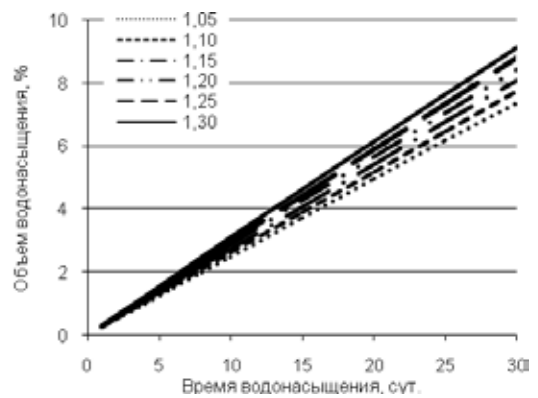


Рис. 9. Объем водонасыщения глинистых отдельностей диаметром 0,25 м в зависимости от времени водонасыщения и их трещиноватости при коэффициенте фильтрации 0,0001 м/сут.

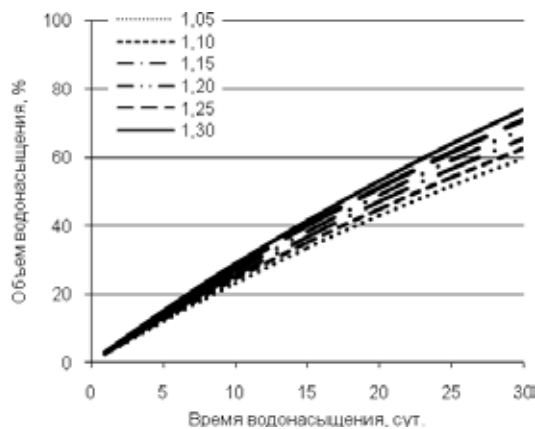


Рис. 10. Объем водонасыщения глинистых отдельностей диаметром 0,25 м в зависимости от времени водонасыщения и их трещиноватости при коэффициенте фильтрации 0,001 м/сут.

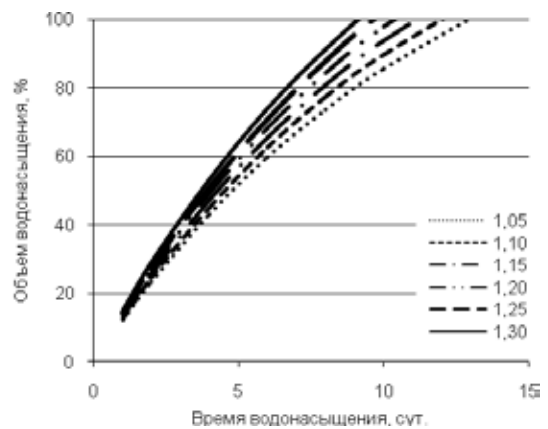


Рис. 11. Объем водонасыщения глинистых отдельностей диаметром 0,25 м в зависимости от времени водонасыщения и их трещиноватости при коэффициенте фильтрации 0,005 м/сут.

С использованием разработанной и представленной методики определения скорости и объема водонасыщения отдельностей глинистых песков были получены зависимости (рис. 8-11), иллюстрирующие влияние трещиноватости на скорость и объем водонасыщения.

Анализ графиков на рис. 9-11 показал, что увеличение трещиноватости отдельностей глинистых песков ведет к увеличению объема их водонасыщения. Это объясняется тем, что трещины увеличивают площадь открытой поверхности, способствуя инфильтрации большего количества воды. Как видно из компактной группы графиков зависимости объема водонасыщения от трещиноватости, роль последней в определении показателей водонасыщения значительно меньше, по сравнению с диаметром отдельностей. Так, максимальный прирост объема водонасыщения при рассмотрении коэффициента трещиноватости в интервале от 1,05 до 1,3 составил не более 18 %.

Кроме того, из графиков видно – чем меньше коэффициент фильтрации рассматриваемых песков, т.е. чем больше содержание в песках глины, тем важнее роль трещиноватости в определении скорости водонасыщения этих песков.

### **Выводы**

1. Разработанная методика определения скорости и объема водонасыщения отдельностей глинистых песков и выполненная на ее основе, с использованием программных средств MS Excel, многофакторная модель позволяют проводить исследования показателей технологии подготовки глинистых песков в широких пределах исходных горно-геологических и технологических данных.

2. Переход в процессе водонасыщения глинистых песков от массива к отдельностям позволяет рассматривать его как эффективный способ подготовки к последующему обогащению.

3. Управление диаметром отдельностей глинистых песков является важной технологической задачей, оказывающей непосредственное влияние на скорость и объем водонасыщения; одновременно необходимо учитывать изменение коэффициента их фильтрации, снижение которого увеличивает роль диаметра отдельностей в определении скорости и объема их водонасыщения. Причем диаметр отдельностей зависит от толщины срезаемой стружки, пластических свойств и влажности вынимаемых песков.

4. Высокая скорость водонасыщения отдельностей достигается увеличением площади свободной поверхности и дополнительно интенсифицируется раскрытием в отдельностях трещин в результате рыхления глинистых песков при их выемке, транспортировании и складировании в промежуточный склад.

### **Список литературы**

1. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
2. Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений: учебник для вузов. – М.: Горная книга, 2007. – 906 с.
3. Мязин В.П. Повышение эффективности переработки глинистых золотосодержащих песков: учебное пособие. Ч. 1. – Чита: изд. ЧГТУ, 1995. – С. 18-19.



## **Research Results of Velocity and Range of Clay Sends Water-Saturating before the Concentration on the Gravel Deposits**

**Andrey V. Nikitin and Viktor E. Kislyakov**  
*Siberian Federal University,  
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

---

*The article consist the materials proving possibility of clay sends water-saturating before the concentration on the gravel deposits. It says that clay sends must be fragmented during excavation and decomposed by water-saturating in an intermediate dump before the concentration. The clay sends fragment with diameter from 0.05 to 0.50 m can be watering up to 10 % during 0.2-8.3 days accordingly. The authors offered procedure of velocity and range of clay sends water-saturating calculation. Main parameters of the procedure depends on: diameter of clay sends fragment, filtration coefficient, disturbance ratio and other.*

*Keywords: gravel deposit, preparation works, clay send, water-saturating.*

---