

22-02.  $\text{CO}_2 54,6 \text{Fe} 3,2 \frac{\text{HCO}_3^- 88 \text{Cl}^- 3 \text{SO}_4^{2-} 11}{\text{Ca} 57 \text{Mg} 22 (\text{Na} + \text{K}) 20} \text{pH} 6,33 t^{0 11,2}$  – гидрокарбонатная кальциевая, весьма пресная

22-03.  $\text{CO}_2 31,5 \text{Fe} 2,215 \frac{\text{HCO}_3^- 64 \text{Cl}^- 3 \text{SO}_4^{2-} 33}{\text{Ca} 57 \text{Mg} 30 (\text{Na} + \text{K}) 22} \text{pH} 6,47 t^{0 9,9}$  – сульфатно-гидрокарбонатная кальциевая, весьма пресная

III.  $\text{CO}_2 4,4 \text{Fe} 4,76 \frac{\text{HCO}_3^- 85 \text{Cl}^- 4 \text{SO}_4^{2-} 11}{\text{Ca} 54 \text{Mg} 30 (\text{Na} + \text{K}) 16} \text{pH} 6,82 t^{0 4,8}$  – гидрокарбонатная натриево-кальциевая, весьма пресная

II.  $\text{CO}_2 3 \text{Fe} 0,9 \frac{\text{HCO}_3^- 81 \text{Cl}^- 4 \text{SO}_4^{2-} 15}{\text{Ca} 46 \text{Mg} 26 (\text{Na} + \text{K}) 28} \text{pH} 6,62 t^{0 10,02}$  – гидрокарбонатная натриево-магниевая-кальциевая, весьма пресная; можно сказать следующее:

Результаты анализа проб показывают повышенные содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ , Fe, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$  в водах района шахты «Герберц-1» и «Герберц-2» относительно значений геохимического фона. Изучаемые природные воды являются весьма пресными по классификации ОСТ 41-05-263-861. Величина общей минерализации изменяется от 85 мг/л (на поверхности восточного ствола шахты Герберц-1) до 142 мг/л (шахта «Герберц-1», западный ствол). По величине pH все воды нейтральные (6.33–6.82). При пробоотборе была измерена температура воды. Вода во всех точках холодная: от 4,8 °С в шахте Герберц-1 на глубине 2 м до 11,2 °С в Герберц-2 на поверхности.

Воды преимущественно гидрокарбонатные кальциевые. Превышения геохимического фона в этой точке наблюдаются по Fe и Al Основные катионогенные элементы в изученных водах находятся преимущественно в ионной форме. Характер распределения кальция и магния почти идентичен. Кроме ионной формы эти элементы мигрируют в форме гидрокарбонатного комплекса.

#### Литература

1. Гавич И. К., Лучшева А. А., Семенова С. М. Сборник задач по общей гидрогеологии: учебное пособие. – Недр, 1985.
2. Коньшев А. А. и др. Особенности поведения химических элементов в системе вода-порода района разрабатываемого карьера бутвого камня в Питкярантском рудном районе (Карелия) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – №. 3. – С. 7-19.
3. Коньшев А. А. и др. Химический состав и формы нахождения металлов в водах района шахты" Люпико-1"(Питкярантский рудный район, Карелия) // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2021. – №. 6. – С. 55-67.
4. Томилина О. В. и др. Комплект карт геохимической основы государственной геологической карты Российской Федерации // Геохимическое картирование севера европейской территории России в рамках международной программы «Экогеохимия Баренцева региона» и проведение опережающего этапа составления геохимических основ Госгеолкарты-1000 третьего поколения на листы. – 2004. – Т. 2. – С. 35.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОГО НАБУХАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Зайцев А.В.

Научный руководитель доцент Крамаренко В.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В данной статье представлен обзор уже имеющихся стандартов по методам определения свободного набухания глинистых грунтов и необходимость экспресс методов (FIS) при инженерных изысканиях.

Свободное набухание или дифференциальное свободное набухание, также называемое «индексом свободного набухания», представляет собой увеличение объема грунта без какого-либо внешнего ограничения при погружении в воду. Грунт с высоким индексом свободного набухания считается непригодным для использования в качестве материала насыпи. В другом случае, если нижний слой грунта имеет высокий индекс свободного набухания, перед строительством насыпи на данном грунте могут потребоваться соответствующие меры по улучшению грунта. Именно поэтому экспресс методы по выявлению индекса свободного набухания (FSI) так необходимы для строительства и инженерно-изыскательных работ.

Для определения характеристики набухания грунта используются разные лабораторные методы. Так в России, в 80-ых годах XX века, за стандарт для определения набухания в лабораторных условиях использовался ГОСТ 24143-80 Грунты «Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки», в 20-ых годах XXI века был заменен на ГОСТ 12248.6-2020 Грунты «Методы определения набухания и усадки». Данный стандарт распространяется на глинистые грунты природного и нарушенного сложения и устанавливает методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки, которые проявляются при изменении влажности глинистых грунтов. Но в свою очередь является недействительным для глинистых грунтов, содержащих крупнообломочные включения с размерами зерен более 5 мм, и на глинистые грунты в мерзлом состоянии. Суть данного метода заключается в измерении высоты испытываемого образца, при невозможности бокового расширения, увеличение которого происходит за счет сил расклинивающего давления, возникающих между глинистыми частицами при гидратации поверхности глинистых частиц молекулами воды, поступающей к образцу при его дополнительном замачивании. Данные испытания проводят в целях установления следующих характеристик набухания: свободное набухание  $\varepsilon_{\text{sw0}}$ , набухание под нагрузкой  $\varepsilon_{\text{sw}}$ , давление набухания  $p_{\text{sw}}$ , влажность грунта после набухания  $w_{\text{sw}}$  [1]. Испытание проводится при естественной влажности, поэтому грунт в разные сезоны может по-разному классифицируется, а при высокой влажности при таянии снегов или после сильных дождей будет определен как не набухающий. Поэтому

экспресс-процедуры, определяющие склонность грунтов к набуханию, очень важны при изысканиях, и требуют анализа действующих методов и их тестирования для составления базы данных.

По СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства, предварительную оценку нормативных значений величины свободного набухания набухающих грунтов (главным образом монтмориллонитовых и полыгорскитовых глин, в меньшей степени – гидрослюдистых и каолинитовых глин) при инженерно-геологических изысканиях для сооружений I и II уровня ответственности, а также окончательную их оценку для сооружений III уровня ответственности допускается выполнять по их физическим характеристикам [2]. Также эти данные содержатся в СП 449.1326000.2019 Инженерные изыскания для строительства в районах распространения набухающих грунтов. Для нахождения свободного набухания используют «Прибор свободного набухания ПНГ».

За рубежом используются следующие показатели набухания: Free Swell Index [7], Изменение потенциального объема (PVC) и индекс набухания, фунт/фут<sup>2</sup> [9]; процент набухания CBR (%) [13]; COLE и LE (%) [5], индекс расширения [11]. Существуют также косвенные методы прогнозирования изменения объема грунта в зависимости от Пределы Аттерберга – предел жидкости (LL), предел пластичности (PL), предел усадки (SL), индекс пластичности, содержание коллоидов, поведение грунта, влажность и плотность сухой грунта, суммарное влагопоглощение и многие другие характеристики [4, 6–8, 10, 12].

В Индии имеется свой стандарт по определению характеристики свободного набухания. Он имеет следующее обозначение: IS 2720 (Part-40): 1977 (Reaffirmed 2021) «Method of test for soils: Determination of Free swell Index of soils».

Согласно IS: 2720 [8] FSI определяется по формуле:

$$FSI = \frac{V_d - V_k}{V_k} * 100$$

Где,  $V_d$  – объем образца грунта в цилиндре с дистиллированной водой; а  $V_k$  – объем образца грунта в цилиндре с керосином.

Примечание – FSI или индекс свободного набухания округляется до целого числа.

Метод определения FSI был предложен Holtz и Gibbs (1956) [7]: сухой грунт объемом 10 см<sup>3</sup> ( $V_0$ ) просеивают через сетку № 425 мкм, засыпанную в цилиндр объемом 100 см<sup>3</sup>, заливают водой, затем через 24 часа измеряют объем грунта ( $V$ ) и процент набухания определяют

Фактическая величина создаваемого давления набухания зависит от плотности в сухом состоянии, исходного содержания воды, дополнительной нагрузки и ряда других факторов окружающей среды. Было замечено что экспресс метод дает отрицательные значения FSI для грунтов, богатых каолинитом.

Таблица 1

Справочная таблица свободного набухания по IS 2720 (Part-40)

Показатель текучести, (%)	Число пластичности, (%)	Индекс усадки, (%)	Свободная волна, (%)	Степень набухания	Степень влияния
20-35	<12	<15	<50	Низкая	Не критичная
35-50	12-23	15-30	50-100	Средняя	Не значительная
50-70	23-32	30-60	100-200	Высокая	Критичная
70-90	>32	>60	>200	Очень высокая	Опасная

В США также имеется стандарта по методы определения характеристики набухания. Обозначается как ASTM-D4829-21 «Standart test method for expansion index of soils». Сущность метода заключается в определении потенциала расширения грунтов при заливании дистиллированной водой, а также помогает измерить качественный показатель свойства грунта, а не расчетный. В дальнейшем использовании данного параметра производится расчет фактической величины расширения. Индекс расширения, EI, указывает на способность грунтов к набуханию [3].

Формула нахождения индекса расширения:

$$EI = 100 * \Delta h * F$$

где  $\Delta h$  – процент набухания, а F – доля, прошедшая через сито размером 19 мм.

Таблица 2

Справочная таблица потенциала расширения по ASTM D-4829

Индекс расширения	Потенциал расширения
0-20	Очень низкий
21-50	Низкий
51-90	Средний
91-130	Высокий
>130	Очень высокий

Таким образом, имеется несколько аналогов стандарта методов определения свободного набухания грунта, наиболее распространение процедуры в настоящее время: в России по ГОСТ 12248.6-2020; в Индии IS 2720 (Part-40): 1977 (Reaffirmed 2021); в США ASTM-D4829-21. В каждом стандарте находятся разные показатели набухания грунта. Однако для создания эффективной общей методики стоит рассмотреть еще ряд стандартов и провести эксперименты для выявления наиболее качественной методики с оптимальными результатами. На данный момент среди предложенных методов, метод свободного набухания (FSI) имеет место рассматриваться как простой и удобный подход, как и в строительстве так и в инженерных изысканиях, позволяющий на начальных стадиях определить склонность грунтов к набуханию для проведения более детальных испытаний.

#### Литература

1. ГОСТ 12248-2020. Грунты. Метод определения набухания и усадки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/566409064>
2. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200007407>
3. ASTM-D4829-21 «Standart Test Method for Expansion Index of Soils» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.astm.org/d4829-21.html>
4. Bellendir E. N., Kagan A. A., Vekshina T. Y. On the classification of clayey soils in Russian and foreign standards // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2005. – Т. 42. – №. 1. – С. 22-27.
5. Brasher B. R. et al. Use of saran resin to coat natural soil clods for bulk-density and water-retention measurements // Soil Science. – 1966. – Т. 101. – №. 2. – С. 108.
6. Chen F. H. Foundations on Expansive Soils, Elsevier Scientific Publication Company. – 1975.
7. Holtz W. G., Gibbs H. J. Engineering properties of expansive clays // Transactions of the American Society of Civil Engineers. – 1956. – Т. 121. – №. 1. – С. 641-663.
8. IS: 2720. Indian Standard Methods of Test for Soils: Part 40 – Determination of Free Swell Index of Soils 1977 (BSI, New Delhi) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ia800403.us.archive.org/22/items/gov.in.is.2720.40.1977/is.2720.40.1977.pdf>
9. Lumbe T. W., Whitman R. V. Soil Mechanics, SI version. – 1988.
10. Snethen D. R. et al. An evaluation of methodology for prediction and minimization of detrimental volume change of expansive soils in highway subgrades. – 1979.
11. United States. Bureau of Reclamation. Design of small dams. – US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1987.
12. Van der Merwe D. H. The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils // Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese. – 1964. – Т. 1964. – №. 6. – С. 103-107.
13. Yoder E. J., Witczak M. W. Principles of pavement design. – John Wiley & Sons, 1991.

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНЕ ПГТ СЕЛЕНГИНСК (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Зрелова М.И.<sup>1, 2</sup>

Научный руководитель профессор О.Г. Савичев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Филиал «Сибирский региональный центр ГМСН» ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Томск, Россия

Поселок Селенгинск находится в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории (БПТ) на левобережье реки Селенга, которая является крупнейшим притоком озера Байкал. Большое количество загрязняющих веществ в нее попадает от промышленных предприятий, сбрасывающих сточные воды в саму реку Селенгу, а также ее главные притоки: реки Чикой и Хилок. Озеро Байкал является уникальным природным объектом, одной из основных проблем которого стало загрязнение водами реки Селенга.

Важным для озера является сохранение уникальной экологической системы и предотвращение негативного воздействия хозяйственной и промышленной деятельности на ее состояние. Из-за высокой техногенной нагрузки изучение состояния подземных вод в зоне БПТ остается актуальным.

На территории Нижнеселенгинского промышленного узла техногенное воздействие оказывают Селенгинский ЦКК, заводы пос. Каменск, автомагистрали и железные дороги, карьеры, вторичное засоление и заболачивание земель. Цементной пылью покрыты улицы пос. Каменск, Тимлюй и их окрестности [1]. В зоне размещения объектов Селенгинского ЦККа и энергетической промышленности филиала ОАО «ТГК-14» загрязняются грунтовые воды четвертичных отложений.

На территории промышленной площадки Селенгинского ЦКК размещены объекты с отходами производства – шламоотстойники, золоотвал, шламонакопитель (рис. 1, 2). Комбинат сливает отходы в четыре отстойника. Два отстойника находятся в непосредственной близости от реки Чернуха, впадающей в реку Селенга, а один – рядом с рекой Виллойка, также впадающей в Селенгу. Никакой гидроизоляции у отстойников нет – это означает, что все отходы комбината свободно проникают в подземные воды, а оттуда в Селенгу и в конечном счете в Байкал. Химический анализ проб подземных вод показывает превышение ПДК во всех скважинах предприятия по ряду элементов: кадмию, марганцу, железу, аммиаку, таловому маслу, нефтепродуктам, сульфату.