

**Б.Ж. Унайбаев¹, Б.Б. Унайбаев², А.Ш. Ищанова³,
Т.А. Канаева⁴, Д.А. Джуманбаева⁵**

¹д.т.н., проф. ЕИТИ, ²к.т.н., докторант КарГТУ, ³магистр ЕИТИ,
⁴ст. препод. ЕИТИ, ⁵магистр ЕИТИ,
²г. Караганда, ^{1,3,4,5}г. Экибастуз, Республика Казахстан

СОЛИ В ГРУНТАХ ОСНОВАНИЯ КАК ФАКТОР, ФОРМИРУЮЩИЙ ИХ КОРРОЗИОННУЮ АКТИВНОСТЬ, ПРОСАДОЧНОСТЬ И СЖИМАЕМОСТЬ

Аннотация. Засоленный пылевато-глинистый грунт (ЗПГГ) – это стохастическая пространственно-временная отдельность общей территории, изменяющаяся в условиях природного и техногенного воздействия на солевой компонент грунта. Предложена методика исследования ЗПГГ. Расчетные параметры, определенные по предложенной методике позволяют на стадии проектирования учесть весь спектр изменения свойств ЗПГГ в основании на нормативный срок эксплуатации проектируемого объекта, а, следовательно, подобрать надежную геотехнологию для возведения проектируемого объекта обеспечить тем самым его надежную эксплуатацию.

Ключевые слова: соли, коррозия, агрессия, основание, осадка, методика, образец, прогноз, оценка, свойства.

С гидрогеохимической точки зрения, ЗПГГ – это гетерогенная система, компоненты и структура которой неустойчивы в условиях природного и техногенного воздействия на солевую компоненту грунта. Агрессивная водно-солевая грунтовая среда (АВСГС), формирующаяся в основании сложенном ЗПГГ, изменяется в условиях увлажнения и длительного фильтрационного воздействия. Следовательно, оценка коррозионной активности ЗПГГ, которая характеризует условия строительной площадки согласно СН РК 2.01-01-2013 «Защита строительных конструкций от коррозии» будет носить, скорее всего, вероятностный характер. К примеру, количество соли в единице грунта, соприкасающееся с бетоном, достаточно высокое. При отсутствии воды и низкой влажности, что характерно для ЗПГГ на стадии изысканий, такие грунты не представляют коррозионной опасности для железобетона. Однако, при подтоплении, которое неизбежно в условиях массовой застройки территорий, в грунтах основания даже с незначительным содержанием соли, формируется АВСГС, характеризующаяся легкой, средней, либо сильной степенью агрессии к металлам и бетону конструкцией нулевого цикла. К тому же при подтоплении и длительном фильтрационном воздействии в основании, сложенном ЗПГГ, наблюдается снижение прочностных и деформационных свойств.

Следовательно, процесс возведения и эксплуатации ЗС на территориях сложенных ЗПГГ постоянно находится в области риска, потому как ЗПГГ – продукт естественной деятельности природы с трудно прогнозируемыми и контролируемыми свойствами, изменение которых тесно связано с влиянием естественных и техногенных факторов на солесодержание грунта. При этом ЗС должно оставаться неизменным, потому как даже незначительное разбитие

деформаций осадки, вследствие снижения несущей способности основания и коррозии фундаментной конструкции может повлечь за собой появление дополнительных усилий в подземных конструкциях, трещинообразование, а по достижению определенных величин может привести к разрушению объекта.

Для достоверного прогноза несущей способности ЗПГГ, на весь нормативный срок эксплуатации проектируемого объекта, необходимо уже на стадии изысканий проведение исследований их физико-механических и химических свойств в условиях увлажнения и длительном фильтрационном воздействии грунтовыми водами, аналогичными по составу и концентрации, грунтовыми водам, залегающим на территориях застроенных предприятиями проектируемого типа.

Ввиду того, что оценка свойств АВСГС в основании, сложенном ЗПГГ, при техногенном воздействии практически не проводилось, особое внимание в исследованиях было уделено разработке соответствующей методики испытания. Предлагаемый способ испытания ЗПГГ в условиях техногенного воздействия, включает размещение двух идентичных образцов грунта в стандартном компрессионно-фильтрационном приборе, замачивание их под нагрузкой путем пропуска через один образец воды, а через второй активного солерастворяющего раствора, фильтрования, измерения рН среды, оценки минерализации фильтрата на выходе и определения требуемых параметров, отличающийся тем, что дополнительно испытывается третий идентичный образец.

Определение конечной просадочности первого образца выполняют после замачивания его под арретиром активным солерастворяющим раствором. Суммарное значение конечных просадочных и суффозионных деформации второго образца ведут после замачивания тем же составом и выщелачиванием под арретиром, а замачивание и выщелачивание третьего образца производят с использованием воды, аналогичной по химическому составу и концентраций грунтовыми водам, формирующимся на территории застройки объектами проектируемого типа.

По результатам испытания оценивают деформации в образцах и химическую активность фильтрата, прогнозируют их развитие на весь период эксплуатации, обусловленное процессами подтопления, нагружения, выщелачивания и солепереноса грунта на зафиксированный и прогнозируемый периоды времени.

Методика позволяет дополнительно к расчетным характеристикам грунта [3] определить параметры, характеризующие интенсивность развитие коррозионных процессов в грунтах основания, такие как коэффициент, замещение (K_3), растворимость (γ_p), растворяющая способность грунтовых вод (α).

Расчетный параметр для определения суффозионной осадки ЗПГГ ($\varepsilon_{s,IT}$) основания ЗС на нормативный срок эксплуатации проектируемого объекта определяется согласно зависимости (1) по данным испытания под заданной проектной нагрузкой:

$$\varepsilon_{s,f,T} = \varepsilon_{s,f,k} (1 - e^{-k\alpha 2T}), \quad (1)$$

где $\varepsilon_{s,f,k}$ – конечная относительная суффозионная сжимаемость грунта по результатам испытания при фильтрационном выщелачивании образца активным солерастворяющим раствором;

T – нормативный срок эксплуатации проектируемого объекта, сутки.

Основное назначение предлагаемой методики испытания заключается в установлении интенсивности изменения свойств АВСГС в основании, сложенном ЗПГГ при техногенном воздействии. Обработка результатов испытания ведется по формуле (2):

$$K_{\alpha 1} = \left(1 - \frac{a_{y.c.}}{a_{e.c.}}\right) 100\% \quad (2)$$

где $K_{\alpha 1}$ – показатель влияния АВСГС на интенсивность изменения свойств ЗПГГ основания;

$a_{y.c.}$ – характеристика грунта после длительного воздействия на АВСГС, активность раствора;

$a_{e.c.}$ – характеристика грунта в естественных условиях.

В зависимости от опытного значения $K_{\alpha 1}$ АВСГС на строительной площадке, сложенной ЗПГГ следует квалифицировать как не агрессивная $K_{\alpha 1} = 1$, слабоагрессивная $K_{\alpha 1} \geq 0,90$, среднеагрессивная $0,90 \leq K_{\alpha 1} \leq 0,5$ и сильноагрессивная $0,5 < K_{\alpha 1} < 0,1$.

Оценка и прогноз изменения свойств ЗПГГ по результатам определения расчетных параметров по предложенной методике позволяет после соответствующих расчетов уже на стадии проектирования оценить сложность возведения и эксплуатации объекта на конкретной строительной площадке сложенной ЗПГГ, оптимизировать выбор материала, конструкции, технологии устройства фундамента, предпостроечные мероприятия, обеспечивающие защиту ЗС от суффозионных осадков и коррозии конструкции, обеспечив тем самым условия надежной эксплуатации проектируемого объекта.

Для оценки изменения состава и свойств ЗПГГ в условиях эксплуатации при подтоплении территорий производился полный комплекс определения физических свойств, содержания солей и механических характеристик в естественном состоянии, при увлажнении и длительном фильтрационном воздействии (выщелачивании) водами, отобранными с территорий застроенных предприятиями проектируемого типа. Для каждого типа ЗПГГ свойства определялись путем обработки результатов испытания каждой серии опытов методом наименьших квадратов с подбором функциональных зависимостей для описания полученных закономерностей.

Установленные закономерности изменения механических свойств грунтов приведены в таблицах 1, 2, 3. Степень изменения свойств ЗПГГ при подтоплении и длительном фильтрационном воздействии (выщелачивании) под действующей нагрузкой зависела от ряда факторов – физического состояния грунта естественного сложения, его дисперсности, засоленности, времени увлажнения, выщелачивания вертикальной уплотняющей и

сдвигающей нагрузки, химического состава и концентрации раствора используемого для выщелачивания образцов и т.д.

Таблица 1 – Статистическая обработка результатов химических анализов грунтов

Тип грунта	Наименование и состояние соли	Среднее арифмет. А, %	Среднее арифмет. А, %	Коэф-т вариации V, %
Глины	гипс до выщелачивания	3,77	1,606	42,60
	гипс после выщелачивания	1,54	1,584	102,88
	карбонаты до выщелачивания	12,23	0,670	5,48
	карбонаты после выщелачивания	11,11	2,526	22,74
	сухой остаток до выщелачивания	0,32	0,307	37,40
	сухой остаток после выщелачивания	0,45	0,205	45,58
	емкость обмена до выщелачивания	15,52	4,385	28,86
	емкость обмена после выщелачивания	-	-	-
	сумма солей при выщелачивании	0,61	0,067	11,34
Суглинки	гипс до выщелачивания	0,89	0,995	111,79
	гипс после выщелачивания	0,46	0,548	119,07
	карбонаты до выщелачивания	13,45	1,847	13,73
	карбонаты после выщелачивания	9,75	1,616	16,57
	сухой остаток до выщелачивания	0,55	0,314	57,21
	сухой остаток после выщелачивания	0,22	0,161	72,39
	сумма солей при выщелачивании	0,70	0,418	59,34
	емкость обмена до выщелачивания	11,96	3,986	33,34
Супеси	гипс до выщелачивания	0,39	0,251	64,36
	гипс после выщелачивания	0,21	0,245	116,64
	карбонаты до выщелачивания	12,44	3,746	30,12
	карбонаты после выщелачивания	7,70	2,161	28,07
	сухой остаток до выщелачивания	0,33	0,126	37,84
	сухой остаток после выщелачивания	0,14	0,110	76,32
	сумма солей при выщелачивании	0,51	0,219	43,12
	емкость обмена до выщелачивания	9,49	6,059	63,83

Испытания грунтов на прочность показали, что:

1) Супеси в состоянии естественной плотности-влажности имеют угол внутреннего трения $25,6^\circ$, сцепления $C=0,142$ МПа; суглинки $\phi=26,4^\circ$, $C=0,042$ МПа; глины $\phi=27^\circ$, $C=0,091$ МПа;

2) При водонасыщении супеси имеют $\phi=23,8^\circ$, $C=0,017$ МПа; суглинки $\phi=22,7^\circ$, $C=0,02$ МПа; глины $\phi=27,6^\circ$, $C=0,026$ МПа;

3) После длительного фильтрационного воздействия (выщелачивания) и уплотнении под нагрузкой, выщелоченные супеси имеют $\phi=25,7^\circ$, $C=0,076$ МПа; суглинки $\phi=17,9$, $C=0,027$ МПа; глины $\phi=35,5^\circ$, $C=0,070$ МПа.

При взаимодействии ЗПГГ с водой происходит их рассоление (табл. 1): грунт насыщается водой, межагрегатные солевые цементационные структурные связи размягчаются, растворяются, соли выносятся, что способствует разупрочнению грунта, уменьшению сцепления, угла внутреннего трения и, как следствие, увеличению сжимаемости.

Таблица 2 – Прогнозируемое изменение механических свойств ЗПГГ

	Снижение механических свойств
--	-------------------------------

Наименование	Сцепление С			Угла внутреннего			Модуль деформации Е		
	В абсолютной величине, МПА	При прогнозируемом подтоплении, %	При ожидаемом длит. воздействии, %	В абсолютной величине, град	При прогнозируемом подтоплении, %	При ожидаемом длит. воздействии, %	В абсолютной величине, МПА	В % первоначальному	При ожидаемом длит. воздействии, %
Супеси	0,15	50	50	17	15	10	10,5	55	60
Суглинки	0,04	80	100	20	15	40	7,5	80	100
Глины	0,09	30	100	27	10	0	8,0	75	100

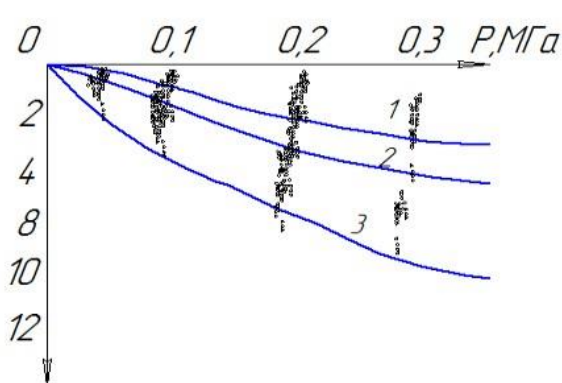


Рис. 1 – Зависимость относительной сжимаемости супесей от нагрузки
1 – среднее значение относительной осадки образца природной плотности – влажности;
2 – то же, водонасыщенного;
3 – то же, выщелоченного

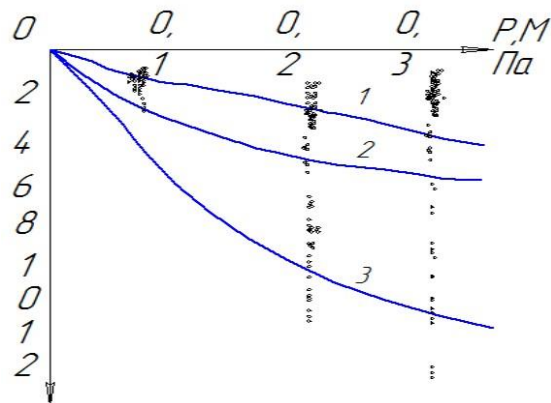


Рис. 2 – Зависимость относительной сжимаемости суглинков от нагрузки

Результаты испытания ЗПГГ различных регионов Казахстана по разработанной методике, а также данные обработки и анализа фондовых материалов изыскательских организаций АО «КарагандаГИИЗ и К», КазГИИЗ, ТОО «Инженерные изыскания» и др. по этим же регионам позволили предложить следующие закономерности изменения характеристик ЗПГГ в условиях длительного подтопления и выщелачивания солей (табл. 2, 3; рис. 1, 2, 3).

Таблица 3 – Закономерность изменения свойств ЗПГГ в основании ЗС при длительном подтоплении и выщелачивании солей в течение 20-25 лет эксплуатации

Наименование грунтов	Плотность скелета грунта, γ	Пористость, n	Модуль общей деформации, Е	Предельно возможные изменения модуля деформации, Е
Суглинки п.г.т. Кульсары (Прикаспийский регион)	γ	n	0,80Е	0,5Е
Суглинки (г. Алматы и пригорода)	γ	0,98 n	0,6Е	0,5Е
Суглинки со строительных площадок г. Шымкента и пригорода	γ	0,99 n	0,7Е	0,5Е

Примечание:

1. Оценка растворяющей способности грунтовых вод, а, следовательно, их агрессивность по отношению к солям, содержащихся в пылевато-глинистых грунтах производилась по разработанной методике [3].

2. γ ; n ; E исходные характеристики грунта до начала строительства.

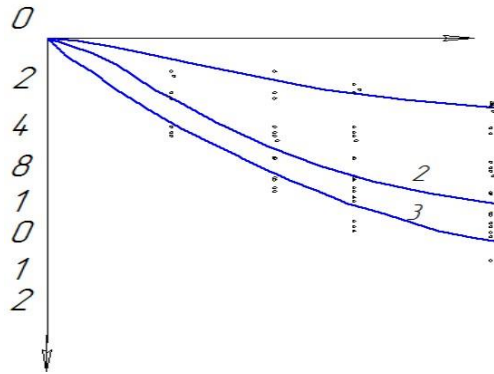


Рис. 3 – Зависимость относительной сжимаемости глин от нагрузки

Выводы:

1. Оценка ЗПГГ основания на стадии изыскания по действующим нормативам не обеспечивает достоверной информацией проектировщиков.

2. ЗПГГ – это стохастическая пространственно-временная отдельность общей территории, изменяющаяся в условиях техногенного воздействия на солевую компоненту грунта.

3. Разработана методика оценки и прогноза изменения свойств АВСГС формирующейся в основании, сложенном ЗПГГ при подтоплении и выщелачивании солей в процессе эксплуатации. Результаты испытания по предложенной методике позволяют на стадии проектирования оценить грунтовые условия в основании на весь период эксплуатации объекта, а потому предложить эффективные материалы, конструкции и технологии устройства нулевого цикла, для надежного строительства и эксплуатации проектируемых объектов.

Литература:

1. Адиков М.Т., Подколзин В.В. Опыт изучения строительных свойств засоленных грунтов в Южном Казахстане// КазССР. Экспресс-информация. – Алма-Ата, 1976. – №4-3.
2. Унайбаев Б.Ж., Унайбаев Б.Б. Фундаментостроение на территориях, сложенных засоленными грунтами. – Алматы: «Эверо», 2019. – 292 с.
3. Способ испытания засоленных грунтов/Инновационный патент на изобретение №22885 от 16.08.2010, бюл.№8. Авторы Унайбаев Б.Б., Унайбаев Б.Ж. и др.

Тұзды шаңды-сазды топырақ (ТШСТ), бұл топырақтың тұз компонентіне табиғи және техногендік әсер ету жағдайында өзгертін жалпы аумақтың стохастикалық кеңістікте уақытша бөлінуі. Зерттеу әдісі тұзды шаңды-сазды топырақты ұсынды. Ұсынылған әдістеме бойынша анықталған есептік параметрлер жобалау кезеңінде осы өзгерістерді жобаланатын объектінің бүкіл Нормативтік қызмет

ету мерзіміне ескеруге, демек, объектіні сенімді пайдалануды қамтамасыз ете отырып, сенімді геотехнологияны таңдауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: тұз, коррозия, агрессия, негіз, тұнба, әдіс, үлгі, болжам, бағалау, қасиеттер.

Saline silty clay soil (SSCS) is the stochastic spatio-temporal separation of a common territory, which changes under conditions of natural and man-made impact on the salt component of soil. The research methodology of SSCS is proposed here. The design parameters determined by the proposed methodology allow to take into account the entire spectrum of changes in the properties of the SSCS in the base for standard service life of the designed facility at the design stage, and, therefore, to select reliable geotechnology for construction of the designed facility, thereby ensuring its reliable operation.

Key words: salts, corrosion, aggression, base, sediment, method, sample, forecast, assessment, properties.