

В.И. Дмитриченко, Н.Т. Омирзаков, Б.Б. Искаков

«Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Алматық., Қазақстан

ЭНЕРГИЯ ЖҮЙЕСІН ЦИФРЛАНДЫРУ

Аннотация. Бұл мақалада электрэнергетика түсінігі, тұжырымдамасы қарастырылды. «Қазақстан-2050» стратегиясына қатысты соңғы жаңалықтарды ескере отырып, жаңартылатын энергия көздері қолданысқа енгізілді, бұл табиғаты өте күрделі ұғымдар. Климаттық және ауа райы жағдайына тығыз байланысты болуының арқасында жаңартылатын энергия көздері электр энергиясын өндіру үшін өте күрделі. Осы мақсатта болашақта электр энергетикасын дамытудың барлық критерийлерін есепке ала отырып, қоғамдық дамуды қамтамасыз етуге қабілетті Smart Grid тұжырымдамасына негізделген интеллектуалды қуат көздерін дамыту, энергетикалық жүйенің тұтынушылық қасиеттерін серпінді арттыру және энергия тиімділігі көзделінілді.

Тірек сөздер: интеллектуалды энергия жүйесі, релелік қорғаныс, қуат беру, жаңартылатын энергия көздері, цифрлық қосалқы станция.

МРНТИ 67.23.03

Б.Б. Унайбаев¹ (orcid-0000-0002-1593-2842),
Б.Ж. Унайбаев² (orcid-0000-0002-4186-0010),
А.Ш. Ищанова³ (orcid-0000-0002-311-9421)

¹Докторант, ²Д-р техн. наук, профессор, ³Магистр, ст. препод.

¹Карагандинский технический университет, г. Караганда, Казахстан

^{2,3}Екибастузский инженерно-технический институт имени академика К. Сатпаева,
г. Екибастуз, Казахстан

e-mail: u-danik@mail.ru, ubks52@mail.ru, aisluis@mail.ru

О КЛАССИФИКАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ И АГРЕССИВНОСТИ ГРУНТОВЫХ ВОД НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Аннотация. по результатам исследования даны предложения по совершенствованию строительной классификации засоленных пылевато-глинистых грунтов (ЗПГГ) и агрессивности грунтовых вод на строительной площадке. Разработаны новые классификационные критерии (характеристики) для разделения ЗПГГ и агрессивности грунтовых вод в условия застройки территорий, сложенных ЗПГГ и методы оценки этих критериев, разработанные на основе совершенствования известных методик и действующих стандартов.

Ключевые слова: засоленный пылевато-глинистый грунт (ЗПГГ), устойчивость, просадочность, агрессивность, подтопление, суффозионная сжимаемость, коррозия, классификация, критерии

Введение. Треть площадей в Казахстане и в республиках Средней Азии, согласно общепринятой классификации грунтов по содержанию легко – и среднерастворимых солей сложена засоленными пылевато-глинистыми грунтами (ЗПГГ). К этой же категории мы относим грунты, содержащие труднорастворимые соли, потому как согласно проведенным исследованиям ЗПГГ, карбонатного типа засоления, при воздействии агрессивных техногенных вод также подвержены суффозионным деформационным и коррозионным процессам [2,5,10,15].

Образовавшиеся в результате длительных геологических, климатических и фационных процессов ЗПГГ, различного типа и степени засоления, представляет собой сложный конгломерат частиц минерального и органического происхождения с разнообразной величиной и формой взаимодействия, свойства которой изменяются в условиях природного и техногенного воздействия.

Развитие экономики Казахстана и республик Средней Азии тесно связано с масштабной застройкой территорий, сложенных ЗПГГ. Масштабная застройка и последующая эксплуатация зданий и сооружений (ЗС) сопровождается неизбежным подтоплением застроенных территорий. В этих условиях увлажнения свойства агрессивной водно-солевой грунтовой среды (АВСГС), формирующейся в ЗПГГ основания, подвержены существенным изменениям, определяющим их несущую способность и долговечность конструкций ЗС.

Следовательно, процесс эксплуатации ЗС на территориях, сложенных ЗПГГ, постоянно находится в области риска, так как ЗПГГ - продукт естественной деятельности природы с трудно контролируемыми и плохо прогнозируемыми физико-механическими и химическими свойствами, изменения которых тесно связано с влиянием естественных и техногенных факторов (нагрузки, фильтрация, химический состав и концентрация грунтовых вод) на химическую компоненту (солесодержание) грунтов, которая является основным элементом формирующим структуру ЗПГГ. При этом ЗС возведенное на ЗПГГ, должно оставаться неизменным, потому как даже незначительное развитие осадки, вследствие снижения несущей способности основания и коррозии фундаментной конструкции влечет за собой появление дополнительных усилий в надземных конструкциях, а по достижению определенных величин может привести к разрушению объекта [2,6,10-12,14,15].

Недостаточная изученность закономерностей изменения свойств ЗПГГ в основании мер борьбы с этим процессом приводит, как правило, к значительному удорожанию строительства, а также снижению надежности проектируемых объектов на ЗПГГ.

Известны многочисленные аварийные осадки и разрушения ЗС, возведенных на ЗПГГ в г.г. Жанаозен, Жезказгане, Балхаше, Караганде, Ереване, Атырау, Волгодонске, Шымкенте, Ташкенте и др. Так, например, в ЗПГГ, подтопляемых высокоминерализованными грунтовыми водами г. Атырау, п.г.т. Кульсары, Тенгиз и др. из-за коррозии стальные подземные трубопроводы выходят из строя каждые 3-4 года (а иногда и раньше), а через 8-10 лет эксплуатации от обычного бетона буронабивных свай, лестничных полу маршей и маршей нулевого цикла остается лишь щебень и остатки ржавой арматуры. Затраты на ремонт, восстановление и реставрацию аварийных объектов зачастую в 1,5-2,0 раза и более превышают затраты на их строительство.

Анализ регламентирующих положений [1,3,4,7-9] по строительной классификации ЗПГГ, испытанию суффозионной сжимаемости грунтов, оценке агрессивности грунтовых вод, инженерно-геологическим изысканиям, проектированию и строительству на ЗПГГ, показал, что эти нормы не отвечают практики современного строительства и требуют неотложного совершенствования и переработки.

На основании изложенного целью исследования послужила разработка предложений по совершенствованию классификации ЗПГГ и агрессивности грунтовых вод на строительной площадке.

Условия и методы исследований. Методологический подход к классификации грунтов и грунтовых вод определяется соответствующим набором классификационных критериев (характеристик) для их оценки. При этом каждый критерий должен быть конкретным показателем состава, состояния и свойств грунта, грунтовой воды. Это положение должно быть строго выдержано, иначе классификация будет иметь только познавательное значение, а практической ценности иметь не будет. При этом для однозначного отнесения того или иного вида грунта, грунтовой воды к какому-либо классификационному типу (подтипу) наличие только количественных критериев недостаточно. Важно, чтобы эти критерии всеми лабораториями определялись одинаково по единому стандарту.

Классификации ЗПГГ известные в гидротехническом, промышленном, гражданском и дорожном строительстве [15] базируются на представлениях о растворимости солей в грунтах, т.е. их суффозионной и структурной неустойчивости, по их растворимости в «чистой» (водопроводной или дистиллированной) воде. При этом все виды и типы ЗПГГ разделяются по содержанию только легко- и среднерастворимых солей (ГОСТ 25100-2011), а основной классификационный критерий – относительная суффозионная сжимаемость ЗПГГ определяется одомергическим испытанием образца ЗПГГ путем выщелачивания его над «бытовой» нагрузкой чистой водой (ГОСТ 12248-2010). При этом ЗПГГ содержащие большое количество труднорастворимых карбонатов кальция и магния (до 50-70% от твердой фазы) относят к незасоленным и используют в строительной практике как суффозионно-устойчивые [1;2;6;10;11;12-15].

Действующие в строительстве стандарты на определение физико-механических свойств ЗПГГ и агрессивности грунтовых вод далеки от совершенства. К тому же методы определения основных показателей ЗПГГ, а именно: оценка засоленности, суффозионной устойчивости, просадочности, влажности, агрессивности водно-солевой грунтовой среды и пр. требует углубленной переработки и уточнения [2;3;4].

Так например действующий стандарт [1] предлагает классифицировать ЗПГГ только лишь по одному из признаков – суммарному содержанию легко- и среднерастворимых солей, более или равным 5%. Подобная оценка ЗПГГ с нашей точки зрения недопустима, потому как из категории засоленных, т.е. суффозионно-неустойчивых, выпадает широко распространённый тип – ЗПГГ, карбонатного типа засоления. Экспериментальным путем установлено [2;10] и определено, что эта категория ЗПГГ в зависимости от состава, степени выщелоченности и водно-солевого режима в основании, агрессивность фильтрующихся грунтовых вод обладает широким диапазоном изменчивости физико-механических и химических характеристик, а потому, если оценивать его согласно регламента [1], теряется характерное свойство, присущее этой категории грунтов, такое как содержание труднорастворимых

солей (их присутствие в грунтах составляет от 0,5 до 30% и более от твердой фазы), просадочность, суффозионная сжимаемость и коррозионная активность. Следовательно, суффозионная структурная неустойчивость этой категории ЗППГ, оцениваемая только лишь содержанием легко- и среднерастворимой соли в твердой фазе грунта меньше или равным 5% не отражает специфики работы этих грунтов в основании, либо теле инженерного сооружения (плотины, каналы, дороги и пр.).

Само определение содержания солей в грунте по водной вытяжке требует уточнения. Известно, что по своей способности растворяться в «обычной» воде (дистиллированной или водопроводной) все соли содержащиеся в грунтах делятся на легко-, средне- и труднорастворимые. Но если при водной вытяжке легко переводятся в растворы соли первой группы, то с гипсом и карбонатами все обстоит гораздо сложнее. Растворимость гипса 2,0-2,5г/литр в обычной воде, а потому как бы мы не меняли соотношения между грунтом и водой большой концентрации гипса в растворе мы не получим, а ведь по концентрации водной вытяжки производится расчет содержания солей в грунте.

Следовательно, обычной водной вытяжкой мы не сможем обнаружить высокое содержание гипса.

Еще более противоречиво и сложными обстоят дела с труднорастворимыми солями. Если оценивать ЗППГ, карбонатного типа засоления, по водной вытяжке то этот грунт будет характеризоваться суффозионно и структурно-устойчивым и пригодным для возведения на нем ЗС, либо использования в теле инженерного сооружения даже при наличии в нем гипса и карбонатов более 50% от твердой фазы.

При исследованиях загипсованных и карбонатных ЗППГ параллельно с водной вытяжкой необходимо делать соляно кислотную вытяжку и определение в грунте содержания CO_2 . Это позволяет путем пересчета определить содержание в грунте гипса и углекислого кальция. Содержание труднорастворимых солей в грунтах следует оценивать ацидометрическим методом, основанном на разрушении карбонатов титрованным раствором соляной кислоты.

Нельзя не указать на полное игнорирование регламентом [3;4;7;8] того обстоятельства, что на процесс выщелачивания солей из ЗППГ естественными т.е. техногенными водами, которые формируются на застроенных территориях, большое влияние оказывает химический состав и концентрация этих вод. В качестве примера можно указать на то, что считаемый практически не растворимым углекислый кальций (карбонаты) легко переводится в раствор водой, содержащей агрессивную углекислоту. Этот факт имеет существенное значение для грунтов Казахстана и республик Средней Азии в которых количество карбонатов кальция составляет до 50% и более от твердой фазы, а в грунтовых водах присутствует агрессивная углекислота. Несмотря на то, что процесс подтопления застроенных территорий изучался и освещался многими исследователями, гидрогеохимическая оценка основания, сложенного ЗППГ, при подтоплении в пределах селитебной застройки до настоящего времени практически не проводилась. При подтоплении застроенных территорий, нарушается естественный водообмен и наблюдается смещение установившегося гидрогеохимического равновесия, вследствие агрессивного (растворяющего) воздействия техногенных вод к солям содержащим в ЗППГ [2;10].

Известная оценка агрессивного воздействия грунтовых вод (СН РК 2.01-2013) [3] имеет сугубо прикладное значение в строительстве, потому как определяет растворяющую способность вод только лишь по отношению к цементному камню (гидрат окиси кальция) бетона. При этом выдвигается сомнительное утверждение, о том что наличие пленки карбоната кальция на цементном камне повышает стойкость бетона в условиях коррозии I и II вида.

Аналогичным образом при оценке агрессивности грунтовых вод согласно строительных норм, учитывается содержание сульфатов в воде при определении коррозии бетона III вида. При этом исходят из того обстоятельства, что образование и накопление солей сульфатов в бетоне при их выпадении из раствора характеризуется увеличением в объеме, приводящем к уплотнению бетона. Растворяющая способность грунтовых вод по отношению к сульфатным и карбонатным солям, сульфатным, коррозионным и деформационным процессам активизирующимся в ЗПГГ, карбонатного засоления при воздействии техногенных вод регламентом, не оценивается.

Обозначенные выше несоответствия легли в основу современных строительных норм при оценке засоленности грунтов и агрессивности грунтовых (техногенных) вод строительной площадке. Подобный подход является односторонним, потому как не учитывает влияние воздействия техногенных вод, которые формируются в ЗПГГ основании за нормативный срок эксплуатации на растворимость солей и снижение механических характеристик ЗПГГ основания.

В современной классификации засоленных грунтов [1] также не нашел отражение такой важный показатель, как содержание карбонатов (труднорастворимых солей) в грунтах, и их влияния на сульфатную устойчивость ЗПГГ. Содержание карбонатов в ЗПГГ Казахстана и республик Средней Азии составляет от 5÷10 до 50% и более. При этом в грунтах присутствует агрессивная углекислота. В экспериментальных исследованиях [10] было получено, что при содержании CaCO_3 от 10 до 20% и более в них наблюдается существенное развитие просадочных и сульфатных деформаций при нагружении в условиях длительного увлажнения и фильтрации агрессивных вод. При этом характерно существенное изменение физико-механических свойств грунта, что может отразиться на достоверности прогноза развития осадки и устойчивости ЗС [2;10].

Интенсивность повышения УГВ на территориях застроенных производственными предприятиями составляет 0,6-1м в год. Генезис этих вод связан с производственной и хозяйственной деятельностью человека, а потому они существенно отличаются от естественных грунтовых вод химическим составом и концентрацией. Техногенные воды имеют, как правило, повышенную минерализацию и агрессивность, т.е. растворяющую способность.

Фильтрация техногенных вод в основании, сложенном ЗПГГ, требует переоценки сложившихся классических представлений о растворяющей способности грунтовых вод. Грунты, содержащие гипс, ангидрит, каменную или калийную соль растворяются в воде диффузионным путем. Карбонаты в грунтах растворяются химическим путем по реакции.



Следовательно, растворимость солей в ЗПГГ основания и динамику изменения их свойств необходимо оценивать по отношению к среде, в которой они находятся, потому как растворяющая способность техногенных вод, может существенно отличаться от растворяющей способности «чистой» воды, как это заложено в стандарте [1;7]. В отдельных случаях эти воды могут растворять и разрушать не только соли в грунтах, но и более прочный материал конструкций нулевого цикла.

В регламенте СН РК 5.01-102-2013 [4] также не нашел отражение следующий очень важный аспект. При подтоплении застроенных территорий, в основании сложенном ЗПГГ наблюдается развитие суффозионных процессов, формирование средне- и сильноагрессивной среды к металлу и бетону, развитие просадочных и суффозионных деформаций, обусловленных снижением сил карбонатной солевой цементации (сцепления) частиц и агрегатов грунта, что в конечном случае приводит к снижению несущей способности основания и развитию дополнительных осадок и коррозии конструкций [2;10]. Интенсивность и масштабы проявления этих процессов обусловлена влиянием химического состава, концентрации грунтовых вод и поровых растворов на растворимость солей, которые являются цементирующим компонентом структуры ЗПГГ.

Изложенное выше подтверждает необходимость совершенствования строительной классификации ЗПГГ и методики оценки классификационных критериев при определении которых должны быть выдержаны следующие условия:

- определены четкие классификационные типы и подтипы ЗПГГ, агрессивности грунтовых вод обладающие свойствами в заданных пределах;
- критерии должны определять граничные подразделения выделенных типов и подтипов;
- критерии по возможности следует выражать количественными показателями;
- необходимо оптимальное количество критериев.

Результаты исследований. Для оценки агрессивного влияния техногенных вод на изменение физико-механических свойств интенсивного протекания суффозионных, деформационных и коррозионных процессов в ЗПГГ основания, содержащих как легко-, средне-, так и труднорастворимые соли была разработана новая методика испытания [5]. Основное назначение предполагаемой технологии испытания заключается в установлении закономерности изменения свойств ЗПГГ основания при длительном воздействии техногенных вод. Обработка результатов испытания ведется по формуле:

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

где $K_{\alpha 1}$ – показатель влияния; $a_{y.c.}$ – характеристика грунта после длительного воздействия агрессивных (техногенных) вод; $a_{e.c.}$ – характеристика грунта в естественных условиях.

В зависимости от опытного значение $K_{\alpha 1}$ грунты на строительной площадке можно квалифицировать как суффозионно-устойчивые $K_{\alpha 1}=1$, относительно суффозионно-устойчивые $K_{\alpha 1} \geq 0,90$, недостаточно суффозионно-устойчивые $0,90 \leq K_{\alpha 1} \leq 0,5$ и суффозионно-неустойчивые $0,5 < K_{\alpha 1} < 0,1$.

Предлагаемая методика оценки влияния агрессивности грунтовых вод на процесс развития химической суффозии и изменения свойств в ЗПГ основан на использовании в лабораторных компрессионно-фильтрационных испытаниях реагента (растворы) активно растворяющего легко-, средне- и труднорастворимые соли в грунтах. Использование химически активного к солям, содержащимся в ЗПГ, реагента позволяет, при сопоставлении со стандартом [7], существенно сократить процесс выщелачивания ЗПГ в испытаниях, а, следовательно, сократить длительность и трудоемкость испытания.

Химический состав и концентрация раствора предложенного в качестве подобного реагента был обоснован экспериментальным путем. При этом были учтены следующие методические и методологические положения:

- реагент не должен разрушать минеральную часть грунта;
- испытания должны быть кратковременными (не более 15-20 суток);
- реагент должен быть относительно доступным, недорогим и удовлетворять требованиям техники безопасности и охраны труда при работе с ним;
- приборы для испытания ЗПГ, должны обладать коррозионной стойкостью, что соответствует специфическим требованиям исследования агрессивных сред;
- критерием конечного сжатия образца является его уплотнение под заданной нагрузкой при полной выщелоченности грунта ($> 0,95$);
- результаты определения суффозионной сжимаемости ЗПГ с выщелачиванием идентичных образцов-близнецов раствором (реагентом) и «чистой» водой при одинаковой степени выщелоченности образцов должны быть однозначными в пределах требуемой точности эксперимента.

Для выполнения изложенных выше требований анализировались известные в грунтоведении, инженерной геологии и петрографии традиционные способы оценки вещественного, минерального, структурного, микрокомпонентного и микроагрегатного состава грунта. Установлено, что для предварительной отмывки минеральной части грунта от водорастворимых солей в известных технологиях используется соляная кислота 10% концентрации. И уже выделенный после отмывки нерастворимый минеральный остаток подвергается анализу. Следовательно, отмывка грунта соляной кислотой 10% концентрации не нарушает его минералогического состава. В то же время, известно, что растворимость легко-, средне- и труднорастворимых солей в растворе соляной кислоты в сотни и тысячи раз больше, чем в обычной воде. Последнее было подтверждено при проведении соответствующих испытаний (рис. 1 и 2).

Оптимальная концентрация раствора соляной кислоты, подбиралась экспериментальным путем. Испытывались песчаные образцы искусственно засоленные труднорастворимой солью (карбонатом кальция) до 5, 10, 15...45% от массы. Образцы формировались по методике ВНИИ ВОДГЕО. Испытания грунтов велись по методике [5] под нагрузкой 0,2 МПа. Рассоление образцов до стабилизации суффозионных деформаций осуществлялось в течение 10...60 суток путем фильтрования через образцы раствора соляной кислоты 1,2,3...10% концентрации. Каждая серия опытов с образцами одинаковой засоленности и определенной концентрации раствора дублировалась 3...n раз в зависимости от степени сходимости экспериментальных данных. Так, при разбросе результатов испытания

относительно среднеарифметического показателя менее чем в 20% испытания дублировались 3 раза, при большем разбросе до 6... 8 и более раз.



Рис. 1- Развитие относительной суффозионной сжимаемости в песчаных образцах засоленных карбонатами под действием растворов соляной кислоты.
 $P = 0,2$ МПа

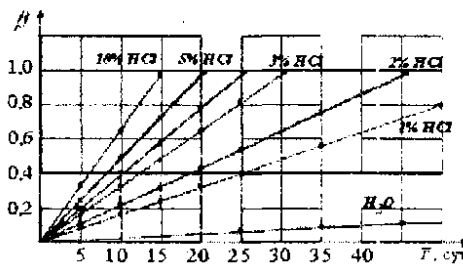


Рис. 2- Интенсивность выщелачивания песчаных образцов засоленных карбонатами под действием растворов соляной кислоты. $P = 0,2$ МПа

Из анализа экспериментально определённых зависимостей (см. рис. 1 и 2) построенных по осредненным данным испытания в каждой серии опытов, показал, что наиболее интенсивно процесс рассоления образцов протекает с увеличением концентрации раствора до 5%. При дальнейшем увеличении процентной крепости раствора соляной кислоты интенсивность выщелачивания образцов повышается незначительно (см. рисунок 1). По результатам испытания для ускорения процесса выщелачивания образцов в испытаниях было принято 5% раствор соляной кислоты.

Для оценки влияния химического состава и концентрации грунтовых вод, т.е. их агрессивности на интенсивность и масштабы протекания суффозионных и деформационных процессов в ЗПГ основания результаты испытания предложено обрабатывать по следующей зависимости:

$$k_{a2} = t_{z.s.} / t_{a.p.} \quad (3)$$

где k_{a2} – коэффициент влияния агрессивности техногенных вод на интенсивность развития деформаций; $t_{z.s.}$ - время стабилизации суффозионных деформаций (0,01 мм за 3-ое суток) в образце грунта при фильтрации через него грунтовых вод аналогичных по химическому составу и концентрации техногенным водам на территории, застроенной предприятиями проектируемого типа, сутки; $t_{a.p.}$ - время достижения аналогичной по величине деформации при испытании образца-близнеца, рассоление которого велось активным реагентом, сутки (см. рис.3).

Расчетный параметр для определения суффозионной осадки ЗПГ ($\varepsilon_{s.f.T.}$) основания зданий и сооружений на нормативный срок эксплуатации определяется по данным испытания:

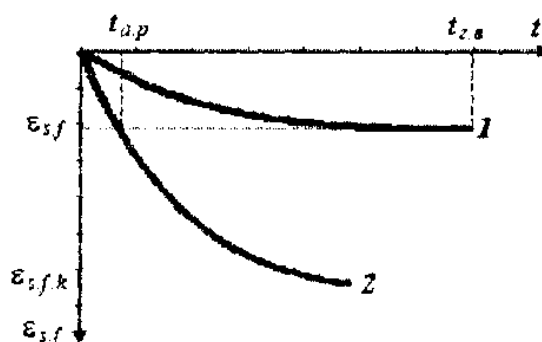
$$\varepsilon_{s.f.T.} = \varepsilon_{s.f.k} (1 - e^{-k_{a2} T}), \quad (4)$$

где $\varepsilon_{s.f.k}$ – конечная относительная суффозионная сжимаемость грунта по результатам испытания при фильтрационном выщелачивании образца химически активным реагентом; T – нормативный срок эксплуатации проектируемого сооружения, сутки.

Коэффициент влияния агрессивности техногенных вод на интенсивность развития сульфатных процессов и деформаций, полученный по результатам обработки данных испытания сульфатной сжимаемости идентичных образцов ЗПГ под заданной нагрузкой при фильтрации через один техногенной воды и через другой активного реагента, несмотря на определенную условность, позволяет оценить влияния агрессивности техногенных вод на интенсивность развития сульфатных процессов и деформаций в ЗПГ (см. рис. 3).

В зависимости от опытного значения k_{a2} техногенные воды на проектируемой строительной площадке, сложенной ЗПГ классифицируются как:

- не агрессивные при $k_{a2} < 0,01$;
- слабоагрессивные при $0,01 < k_{a2} < 0,05$;
- среднеагрессивные при $0,05 < k_{a2} < 0,1$;
- сильноагрессивные при $k_{a2} > 0,1$.



1 – экспериментальная зависимость $\varepsilon_{s,f} = f(t)$ при фильтрации через образец воды характерной грунтовым водам на территории застроенной предприятиями проектируемого типа; 2 - экспериментальная зависимость $\varepsilon_{s,f} = f(t)$ при фильтрации через образец-близнец раствора соляной кислоты 5% концентрации.

Рис. 3. Методика обработки результатов испытания по оценке влияния агрессивности техногенных вод на интенсивность протекания сульфатных и деформационных процессов в ЗПГ основания

Обсуждение научных результатов. ЗПГ на стадии изысканий под строительство находится в естественном маловлажном состоянии, содержат от 5...10 до 35% и более солевых обводнений в виде углекислого и сернокислого кальция, магния (труднорастворимые соли) и незначительного присутствия легкорастворимых соединений (2-5%), характеризуются I и II типом просадочности, обладает слабой агрессивностью согласно СП РК 2.01-101-2013, высокой прочностью и пористостью ($\approx 50\%$), наличием макропор размером от 0,2 до 2 мм, преимущественным содержанием пылеватых частиц, малым количеством глинистых включений, коэффициентом фильтрации от 0,1 до 2,5 м/сутки. Этот же грунт после длительного увлажнения и в водонасыщенном состоянии, что неизбежно в процессе нормативного срока эксплуатации проектируемых объектов претерпевает существенные изменения и отличается согласно СНиП СП РК 2.01-101-2013, от их естественного состояния на стадии изысканий, проявлением легкой, средней, либо сильной степени агрессии к металлу и бетону строительных

конструкций, водонеустойчивостью, водопроницаемостью, снижением прочности и увеличением сжимаемости под нагрузкой [2;10].

Проведенными исследованиями было установлено, что деформации ЗПГГ, различного типа и степени, в основании в зависимости от исходной пористости, интенсивности действующей нагрузки и агрессивности фильтрующихся через них техногенных вод могут составлять от 1...2 до 75% общей осадки. Следовательно, суффозионные деформации ЗПГГ на территориях, подтопляемых техногенными водами, необходимо учитывать при проектировании зданий и сооружений. Указанное обстоятельство имеет особо важное значение для повышения качества строительства в республиках Средней Азии, Казахстане, обширные территории которых преимущественно сложены ЗПГГ содержащими карбонаты кальция и магния в количестве от 10...15 до 25...30% твердой фазы грунта и подтопляемые в процессе эксплуатации агрессивными водами.

Результаты испытания ЗПГГ по предлагаемой методике [5], а также данные обработки и анализа фондовых материалов изыскательских организаций АО «КарагандаГИИЗ и К», КазГИИЗ, ТОО «Инженерные изыскания» ПНИИСС за длительный период (от 1-3 до 30 лет) позволили предложить следующие закономерности снижения свойств ЗПГГ в основании при воздействии техногенных вод (табл. 1).

Таблица 1

Закономерность снижения свойств ЗПГГ в основании при длительном замачивании и фильтрационном воздействии техногенных вод

| Наименование грунтов | Плотность скелета грунта, γ | Пористость, n | Модуль общей деформации, E | Предельно возможные изменения модуля деформации, E |
|---|------------------------------------|-----------------|------------------------------|--|
| Суглинки пгтКульсары (Прикаспийский регион) | γ | $1n$ | $0,80E$ | $0,5E$ |
| Суглинки (г.Алматы и пригород) | γ | $0,98n$ | $0,6E$ | $0,5E$ |
| Суглинки со строительных площадок г. Шымкента и пригорода | γ | $0,99n$ | $0,7E$ | $0,5E$ |
| Примечание: 1. Оценки растворяющей способности техногенных вод, а следовательно их агрессивность по отношению к солям содержащимся в ЗПГГ производилась по нами разработанной методике [5]. 2. $\gamma; n; E$ исходные характеристики грунта до начала строительства. | | | | |

Точность прогноза суффозионной осадки при определении расчетного параметра по предложенной методике [5], проверялось в сопоставлении с данными многолетних натуральных наблюдений развития осадки ВНИИГ на пяти сооружениях в южном регионе СНГ (табл. 2).

Сжимаемая толща ЗПГГ в основании сооружений, принималась равной глубине залегания уровня грунтовых вод до начала строительства. Нормативный срок эксплуатации объектов в расчетах $\varepsilon_{с,ПГ}$ был принят равным 50 годам. Относительная суффозионная сжимаемость грунтов под заданной нагрузкой определялась известными способами [6;7] и согласно нами

предложенной методике [5]. Анализ результатов показал, что погрешность прогноза по предлагаемому способу [5] составляет 13-20% преимущественно в сторону завышения прогнозируемой осадки над фактической, а погрешность прогноза по стандартному способу [7] и методике НИИОСП [6] при определении параметра $\varepsilon_{s,f}$ составляет 31-66% преимущественно в сторону занижения прогнозируемой осадки.

Завышение прогнозируемой осадки над фактической в 25-43% наблюдается также при использовании в расчетах $\varepsilon_{s,f,k}$ определенного – прототипом [2] и предлагаемым способом [5]. Если учесть, что незначительное развитие суффозионной осадки на указанных объектах (см. табл.2) продолжается до настоящего времени, то очевидно, что предлагаемый способ [5] определения расчетного параметра более достоверен, чем известные.

Результаты сопоставления позволяют рекомендовать предлагаемый метод испытания ЗПГГ [5] в практику изысканий при проектировании на территориях, сложенных ЗПГГ, подтопляемых техногенными водами.

Определяемые по результатам испытаний коэффициент агрессивности грунтовых вод K_{a1} и K_{a2} могут служить классификационной характеристикой для оценки влияния агрессивности техногенных вод на структурную и суффозионную устойчивость ЗПГГ, слагающих строительную площадку.

В зависимости от опытного значения этих параметров можно рекомендовать использование тех или иных конструктивно-технологических решений по защите фундамента от солевой формы коррозии, а также предпостроечные мероприятия по предотвращению суффозионно-карстовых процессов в грунтах и повышению надежности эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

Исходя из выше изложенного, классификацию и оценку ЗПГГ следует давать по литологическим разностям и генетическим типам с учетом совокупности значений ряда показателей. Так, например, для классификации ЗПГГ, карбонатного типа засоления, необходимо получить в лаборатории данные о минералогическом составе, влажности, пористости, агрессивности грунтовых вод просадочной и суффозионной сжимаемости. Тогда при проектировании инженерных сооружений на ЗПГГ, вмещающих от -10 до 50% труднорастворимых и 0,5...5,0% легко- и среднерастворимых солей, исходной пористости свыше 45-50%, опытным значении агрессивности техногенных вод $k_{a1} > 0,01$, $k_{a2} > 0,9$ и соответствующем показателе суффозионной сжимаемости $\varepsilon_{s,f}$ следует классифицировать эти грунты как засоленные, т.е. суффозионно-неустойчивые и проектировать на них объекты с учётом возможного изменения их физико-механических свойств при выщелачивании. Классификация, приведённая в таблице 3 разработана в развитие ранее разработанными нами [9] применительно к ЗПГГ карбонатного типа засоления.

Основным критерием при разделении грунтов на группы 1, 2, 3 и 4 тип служит количественное содержание в них легко-, средне- и труднорастворимых солей, их относительная просадочная и суффозионная сжимаемость под нагрузкой 0,1...0,3 МПа, коэффициенты агрессивности техногенных вод и влияния этих вод на изменение свойств грунтов.

Таблица 2

Результаты сопоставления прогнозируемой и фактической осадки сооружений на ЗПГГ,
карбонатного типа засоления, при фильтрационном воздействии техногенных вод

| Наименование объекта | Сроки наблюдения, годы | Вид грунта в основании/сжимаемой толщи | Давление на подошве, МПа | Исходное содержание солей в грунте, % | | | Фактическая осадка | Осадка прогнозируемая с использованием данных испытания, см | | | | | |
|----------------------|------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|---|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | Легкораствор. | Средне-раствор. | Трудно-раствор. | | По ГОСТ 25585-83 ($\epsilon_{s,f}$) | по прототипу | | По предлагаемому способу | | |
| | | | | | | | | | $\epsilon_{s,f}$ | $\epsilon_{s,fk}$ | $\epsilon_{s,f}$ | $\epsilon_{s,fk}$ | $\epsilon_{s,fT}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | ≥ 30 | суглинок супесь/17 | 0,18 | 2,7 | 16 | 32 | 108 | 72 | 74 | 136 | 74 | 135 | 122 |
| 2 | ≥ 30 | суглинок супесь/25 | 0,005 | 7,3 | 16 | 32 | 62 | 21 | 23 | 79 | 23 | 80 | 70 |
| 3 | ≥ 30 | суглинок супесь/22 | 0,15-0,20 | - | 27 | 27 | 64 | 42 | 43 | 84 | 43 | 86 | 75 |
| 4 | ≥ 30 | суглинок супесь/29 | 0,18 | - | 16 | 33 | 54 | 25 | 27 | 67 | 27 | 68 | 61 |
| 5 | ≥ 15 | суглинок супесь/10-15 | 0,20 | 1,5 | 3 | 41 | 60 | 36 | 40 | 84 | 40 | 86 | 72 |

Примечание: - Объекты под номером 1 и 2 соответственно фронтальная стенка и левый отрылок Фархадской ГЭС; 3 – напорный бассейн ГЭС-3; 4 – Головное сооружение Голодностепского канала; 5 – Копендатская платина (I очередь) на Каракумском канале [1] ВНИИГ им. Веденеева

- По данным изысканий и исследований грунтов III очереди Каракумского канала ТГВХ, МГУ им. М.В. Ломоносова и САНИРИ, ВНИИГ (фондовые материалы) содержание карбонатов в ЗПГГ на объектах 1;2;3;4;5 составляют от 5-10% до 60%, гипса от 1...3 до 20% и легкорастворимых солей до 3% от твердой фазы.

Таблица 3

Классификация ЗПГГ

| Индекс группы грунта | Содержание соли | | Тип грунта | Конечная относительная суффозионная сжимаемость грунта на нормативный срок эксплуатации проектируемого объекта при $P=0,1$ МПа | Агрессивность грунтовой воды* по параметру K_{a1} | Особенности испытания | Возможность использования | Кэф.влияния, K_{a2} |
|----------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------------|--|---|--|---|-----------------------|
| | Труднорастворимой | легко и средне растворимой | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 5 | <0,5 | Суффозионно-устойчивый | < 0,01 | Отсутствует | Испытывать как обычные грунты | Пригодны | 1 |
| 2 | 10...15 | 0,5...1 | Относительно суффозионно-устойчивый | 0,01-0,03 | Слабая | Испытывать как обычные грунты | Пригодны | 0,9 |
| | | | | | Средняя, сильная | Испытывать по способу [5] | Пригодны к использованию с учетом изменения свойств при выщелачивании | |
| 3 | 5 | <0,5 | Суффозионно-устойчивый | < 0,01 | Отсутствует | Испытывать как обычные грунты | Пригодны | 1 |
| | | | | | Слабая, средняя | Испытывать по способу [5] | Пригодны к использованию с учетом изменения свойств при выщелачивании | |
| | | | | | Сильная | Испытывать по способу [5], дополнительно проводить натурные штамповые опыты с выщелачиванием грунта активным раствором по РСН РК 55-90 | Пригодны к использованию без противосуф.* мер для сооружений 3 и 4 класса. Пригодны к использованию с проведением противосуф. мер для сооружений 1 и 2 класса | |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|-----|----|-------------------------------|-------|---------------------|--|--|-----------|
| 4 | >30 | >5 | Суффо- зионно- неустойч | >0,10 | Отсутствует | Испытывать по способу [5] | Пригодны к использованию с учетом изменения свойств при выщелачивании | 0,5...0,1 |
| | | | | | Слабая | Испытывать по способу [5] | Пригодны к использованию без противосуффозионных* мероприятий для сооружений 3 и 4 класса. Пригодны к использованию с проведением противосуффозионных мероприятий для 1 и 2 класса | 0,5...0,1 |
| | | | | | Средняя, сильная | Испытывать по способу [5], дополнительно проводить натурные штамповые опыты с выщелачиванием грунта активным раствором по РСН РК 55-90 | Пригодны только после проведения противосуффозионных мероприятий | |

*Примечания: 1. Способ испытания засоленных грунтов [5]

Практические предложения по усовершенствованию классификации ЗПГГ (см. таблицу 3), карбонатного типа заложения и агрессивности грунтовых вод на строительной площадке включает комплексную качественную и количественную оценку опасности проявления в них суффозионных и деформационных процессов с учетом влияния техногенных факторов (агрессивность грунтовой воды, нагрузка, нормативный срок эксплуатации проектируемого объекта и т.п.) на интенсивность развития просадочных и суффозионных деформаций в грунтах смешанного, и в том числе карбонатного типа засоления. Следует отметить, что низкая скорость протекания суффозионных процессов в грунтах, сложенных ЗПГГ карбонатного типа засоления, не может на весь нормативный срок службы здания, сооружения считаться абсолютным показателем безопасности проявления структурной и суффозионной неустойчивости этих грунтов. Масштабы проявления структурной и суффозионной неустойчивости ЗПГГ в основании должны определяться не только количественным и качественным содержанием в них солей, а, главным образом, водоустойчивостью структурных связей, сформированных солевой цементацией легко-, средне- или труднорастворимых солей. Только учет размеров и характера протекания просадочных и суффозионных деформаций в этих грунтах может служить основным критерием при оценке опасности проявления ЗПГГ в основании при техногенном воздействии. В связи с этим, далеко не для всех случаев правомерным является категоричное положение регламентируемых строительных документов [1;3;4;7;8;9], базирующееся на определении интенсивности растворения солей в грунтах различного типа и степени засоления, исходя из степени их растворимости в обычной воде. Согласно этому ошибочному представлению грунты, содержащие труднорастворимые соли, до настоящего времени относятся к суффозионно-устойчивым, а потому изыскания, проектирование и строительство на этих грунтах ведется без учета возможности развития в них суффозионных деформаций [4;8;9]. Негативный опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений основанный на этом предположении можно проиллюстрировать многочисленными аварийными деформациями зданий и сооружений в г.г. Волгодонске, Запорожье, Балхаше, Жезказгане, Новом Узене, Ташкенте и др.

Заключение. Таким образом, на начальном этапе изысканий совместный учет типа и степени засоления ЗПГГ, агрессивности техногенных вод, т.е. их растворяющей способности, а в дальнейшем по мере исследования размеров и характер проявления в них суффозионных и совокупных с ними деформационных процессов при воздействии техногенных факторов соизмеримый с нормативным сроком эксплуатации проектируемого объекта, даже при недостаточно обоснованных градациях, определяемых при этом расчетных параметров, позволяет с большей объективностью и достоверностью, чем в известных классификациях [1;6], оценить опасность их проявления и принять соответствующие меры по обеспечению надежной эксплуатации проектируемых объектов уже на стадии предпроектных изысканий и проектирования.

Следует отметить, что любая классификация отражает не только современный уровень наших знаний и представлений о грунтах, но, что более важно, выявляет и определяет направление дальнейших теоретических исследований и прикладных разработок.

Авторы отдают себе отчет в том, что предлагаемая классификация ЗПГГ и агрессивности грунтовых вод является весьма не полной и еще не

достаточно точной. Однако по мере накопления исследовательского материала она будет расширяться и уточняться. Толчком для работы в этом направлении могут послужить приведенные в статье данные.

Список литературы

1. ГОСТ 25.100-2011. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2011.- 63с.
2. Унайбаев, Б.Ж. Фундаментостроение на засоленных грунтах (Теория и практика) [Текст]: Монография / Б.Ж. Унайбаев, Б.Б. Унайбаев. - Алматы: Изд-во Эверо, 2019.-292с.
3. СН РК 2.01-2013 Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – Введ. с 1 июля 2015 года. - Астана, 2015. - 23 с.
4. СН РК 5.01-02-2013 Основания зданий и сооружений [Текст]. Введ. с 1 июля 2015 года. - Астана, 2015. - 24 с.
5. Унайбаев, Б.Ж., Способ испытания засоленных грунтов [Текст] / Б.Ж. Унайбаев, Б.Б. Унайбаев // Инновационный патент РК №22895 от 16.08.2010, бюл. №8.
6. Петрухин, В.П. Строительные свойства засоленных и загипсованных грунтов [Текст] / В.П. Петрухин - М.: Стройиздат, 1980. – 120с.
7. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. Межгосударственный стандарт [Текст]. – Введ. 2012-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2010.- 78с
8. СП РК 1.02-105-2014 Инженерные изыскания для строительства [Текст]. - Введ. 1 июля 2015 года. - Астана, 2015. – 97с.
9. НТП РК 07-01.1-2011 Проектирование зданий на засоленных грунтах [Текст]. [?], 2015.
10. Унайбаев, Б.Ж. Изыскание, проектирование и строительство на засоленных грунтах [Текст] / Б.Ж. Унайбаев. - Караганда: КарГТУ, 2001.-303с.
11. Мустафаев, А.А. Деформации засоленных грунтов в основаниях сооружений [Текст] / А.А. Мустафаев - М.: Стройиздат, 1985.-280с.
12. Терлецкая, М.Н. Каналы в водонепроницаемых грунтах аридной зоны [Текст] / М.Н. Терлецкая - М.: Колос, 1983.-96с.
13. Затеннадская, Н.П. Закономерности формирования свойств засоленных глин [Текст] / Н.П. Затеннадская - М.: Наука, 1985. - [?]с.
14. [?] Растворение и выщелачивание горных пород [Текст]. – М.: Госстройиздат, 1957.-266с.
15. Петрухин, В.П. Строительство сооружений на засоленных грунтах [Текст] / В.П. Петрухин. – М.: Стройиздат, 1989.-264с.

Материал поступил в редакцию 18.03.21

Б. Б. Унайбаев¹, Б.Ж. Унайбаев², А.Ш. Ищанова²

¹Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

²Академик Қ.Сәтбаев атындағы Екібастұз инженерлік-техникалық институты,
Екібастұз, Қазақстан

ТҰЗДЫ ШАҢДЫ-САЗДЫ ТОПЫРАҚТАРДЫҢ ЖІКТЕЛУІ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС АЛАҢЫНДАҒЫ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ АГРЕССИВТІЛІГІ ТУРАЛЫ

Аннотация. Зерттеу нәтижелері бойынша тұзды шаңды-сазды топырақтардың (ТШСТ) құрылыс сыныптамасын және құрылыс алаңындағы Жер асты суларының агрессивтілігін жетілдіру бойынша ұсыныстар берілді. ТШСТ -ны бөлу және қққ-ның қалыптасқан аумақтарын салу шартымен жер асты суларының агрессивтілігі үшін

жаңа жіктеу критерийлері (сипаттамалары) және белгілі әдістемелер мен қолданыстағы стандарттарды жетілдіру негізінде әзірленген осы өлшемдерді бағалау әдістері әзірленді.

Тірек сөздер: тұздалған шаң-сазды топырақ (ТШСТ), тұрақтылық, шөгү, агрессивтілік, су басу, суффозиялық сығылу, коррозия, жіктеу, критерийлер

B. B.Unaibaev¹, B.Zh.Unaibaev², A.Sh.Ishanova²

¹Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

²Ekibastuz engineering and technical Institute named after academician K. Satpayev, Ekibastuz, Kazakhstan

ABOUT THE CLASSIFICATION OF SALINE DUSTY-CLAYY SOILS AND THE AGGRESSIVENESS OF GROUND WATER AT THE CONSTRUCTION SITE

Abstract. based on the results of the study, proposals were made for improving the construction classification of saline silty-clayey soils (SSCS) and the aggressiveness of groundwater at the construction site. New classification criteria (characteristics) have been developed for the separation of GZGG and the aggressiveness of groundwater in the context of the development of territories of folded GZGG and methods for assessing these criteria, developed on the basis of improving the known methods and existing standards.

Keywords: saline silty clay soil (SSCS), stability, subsidence, aggressiveness, flooding, suffusion compressibility, corrosion, classification, criteria.

References

1. GOST 25.100-2011. Grunty. Klassifikaciya. Mezghosudarstvennyj standart [Soils. Classification. Interstate standard]. - Moscow: Publishing House of Standards, 2011. – 63p. [in Russian].
2. Unaibaev, B.Zh. Unaibaev B.B. Fundamentostroenie na zasolennyh gruntah (Teoriya i praktika)[Foundation construction on saline soils (Theory and practice)]: / Monograph - Almaty: Evero, 2019. – 292 p.[in Russian].
3. SN RK 2.01-2013 Zashchita stroitel'nyh konstrukcij ot korrozii [Protection of building structures from corrosion]. - Astana, 2015. - 23 p.[in Russian].
4. SN RK 5.01-02-2013 Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij [Foundations of buildings and structures]. - Astana, 2015. - 24 p.[in Russian].
5. Unajbaev, B.ZH., Unajbaev B.B. Sposob ispytaniya zasolennyh gruntov [Testing method with saline soils] / Innovative patent RK №22895 from 16.08.2010, bull. No. 8. [in Russian].
6. Petrukhin, V.P. Stroitel'nye svoystva zasolennyh i zagipsovannyh gruntov [Structural properties of saline and plastered soils].- Moscow: Stroyizdat, 1980. – 120 p.[in Russian].
7. GOST 12248-2010. Metody laboratornogo opredeleniya harakteristik prochnosti i deformiruemosti. Mezghosudarstvennyj standart [Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformability characteristics. Interstate standard]. - Moscow: Publishing House of Standards, 2010. - 78 p. [in Russian].
- 8.SP RK 1.02-105-2014 Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva [Engineering surveys for construction]. - Astana, 2015. – 97p. [in Russian].
9. NTP RK 07-01. 1-2011Proektirovanie zdaniy na zasolennyh gruntah[Design of buildings on saline soils]. [?], 2015. [in Russian].

-
10. Unaibayev, B.Zh. Izyskanie, proektirovanie i stroitel'stvo na zasolennyh gruntah [Exploration, design and construction on saline soils]. - Karaganda: KarSTU, 2001. – 303p. [in Russian].
 11. Mustafayev, A.A. Deformacii zasolennyh gruntov v osnovaniyah sooruzhenij [Deformations of saline soils in the bases of structures].-Moscow: Stroyizdat, 1985. – 280 p. [in Russian].
 12. Terletskaya, M.N.Kanaly v vodoneustojchivyh gruntah aridnoj zony[Channels in water-resistant soils of the arid zone]. -Moscow: Kolos, 1983. - 96 p. [in Russian].
 13. Zatenadskaya, N. P. Zakonomernosti formirovaniya svojstv zasolennyh glin [Regularities of formation of properties of saline clays]. –Moscow: Nauka, 1985. - [?] p. [in Russian].
 14. [?]Rastvorenje i vyshchelachivanie gornyh porod [Dissolution and leaching of rocks]. - Moscow: Gosstroizdat, 1957. - 266 p. [in Russian].
 15. Petrukhin, V.P. Stroitel'stvo sooruzhenij na zasolennyh gruntah [Construction of structures on saline soils]. - Moscow: Stroyizdat, 1989. – 264p. [in Russian].