



Качество и достоверность лабораторных испытаний грунтов на юге Тюменской области

Р.В. Мельников¹

¹Тюменский индустриальный университет,
Тюмень, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Качество и достоверность инженерно-геологических изысканий во многом обеспечивает надежность и долговечность проектных решений. Основным методом получения механических характеристик является отбор образцов и их лабораторное испытание. Актуальность исследования состоит в комплексном подходе к оценке качества лабораторных образцов грунта, затрагивающем региональные особенности грунтовой среды и возможности подрядных организаций. Целью настоящего исследования является комплексная оценка качества лабораторных образцов грунта и построение модели их прогнозирования на основе выявленных факторов. Задачами исследования являются создание базы данных региональных инженерно-геологических изысканий, определение качества лабораторных образцов грунта и анализ влияния отдельных параметров, выполнение корреляционного анализа между выявленными признаками и качеством образцов грунта, определение модели для прогноза качества образцов грунта на основе регрессионного анализа, решение задачи обратной оптимизации методом Монте-Карло для оценки факторов обеспечивающих высокое качество образцов грунта.

Результаты. Получены отдельные результаты влияния глубины отбора и физических характеристик грунта на качество лабораторных образцов. На основании корреляционного анализа отобраны факторы для регрессионного анализа и получены две модели прогнозирования качества образцов грунта: на основе машинного обучения и аналитическая модель. Дальнейшее использование данных моделей в обратной оптимизации позволило установить соотношения глубины отбора и консистенции глинистых грунтов, обеспечивающее отбор образцов высокого качества.

Выводы. Сформулированы выводы о качестве инженерно-геологических изысканий на основе качества лабораторных образцов грунта, выявлены факторы, влияющие на качество образцов грунта при их отборе, предложена модель прогноза качества образцов грунта.

Ключевые слова: инженерные изыскания, качество образцов грунта, регрессионный анализ, глубина отбора, глинистые грунты

Для цитирования: Мельников Р.В. Качество и достоверность лабораторных испытаний грунтов на юге Тюменской области // Известия КГАСУ, 2025, № 3 (73), с. 8-19, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.1, EDN: ADZDVZ

Quality and reliability of soil laboratory tests in the south of the Tyumen region

R.V. Melnikov¹

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Abstract: *Problem Statement.* The quality and reliability of engineering geological surveys largely determine the reliability and durability of design solutions. The primary method for obtaining mechanical characteristics is sampling and subsequent laboratory testing. The relevance of the study lies in a comprehensive approach to assessing the quality of soil laboratory samples,

which considers regional specifics of the soil environment and the capabilities of contracting organizations. The aim of this study is a comprehensive assessment of the quality of soil laboratory samples and the development of a model for their prediction based on identified factors. The research objectives include creating a database of regional engineering geological surveys, determining the quality of soil laboratory samples and analyzing the influence of individual parameters, performing a correlation analysis between the identified features and soil sample quality, defining a model for predicting soil sample quality based on regression analysis, and solving an inverse optimization problem using the Monte Carlo method to assess the factors ensuring high-quality soil samples.

Results. Specific results of the influence of sampling depth and soil physical characteristics on the quality of laboratory samples were obtained. Based on correlation analysis, factors for regression analysis were selected, and two models for predicting soil sample quality were developed: a machine learning-based model and an analytical model. The subsequent application of these models in inverse optimization made it possible to establish the relationships between sampling depth and the consistency of clayey soils that ensure the collection of high-quality samples.

Conclusions. Conclusions were formulated regarding the quality of engineering geological surveys based on the quality of soil laboratory samples; factors affecting soil sample quality during sampling were identified; and a model for predicting soil sample quality was proposed.

Keywords: engineering surveys, quality of soil samples, regression analysis, sampling depth, clayey soils

For citation: Melnikov R.V. Quality and reliability of soil laboratory tests in the south of the Tyumen region // News of KSUAE, 2025, № 3 (73), p. 8-19, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.1, EDN: ADZDVZ

1. Введение

Качество проектирования является одной из основ надежности и долговечности объектов капитального строительства. Оно опирается на результаты инженерно-геологических изысканий [1-3]. При их проведении обязательно определяют характеристики грунтов и проводят последующую оценку. На достоверность результатов изысканий существенно влияет качество образцов грунта, поступающих в лабораторию. Данная тема активно исследуется. В работах [4-6] оценивалось влияние различных грунтоносков на качество образцов грунта. В работе [7] оценивается влияние экономических и правовых факторов снижающих качество изысканий в целом. Работах [8, 9] построена на большой выборке данных и содержит статистическую оценку качества лабораторных образцов грунтов для территории Санкт-Петербурга и окрестностей. В ней указывается, что во время бурения, отбора, упаковки, транспортировки, хранения монолита и вырезания из него лабораторного образца происходит изменение структуры грунта вследствие разуплотнения, смятия, высыхания и т. п. В работе [10] указывается о влиянии качества образцов грунта на параметры моделей механического поведения грунта, в частности с двойным упрочнением. В работе [11] подчеркивается, что изменение природной структуры существенно влияет на прочность. В работе [12] изучается влияние технологии отбора образца на его физические характеристики и напряженное состояние. В работе [13] проводится численное исследование изменения природного сложения при отборе образцов грунта.

Определить качество лабораторных образцов грунта можно по национальным стандартам: ГОСТ Р ИСО 22475-1-2017 Геотехнические испытания грунтов; СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений; EN 1997-2 (2007) (English): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing; Norsok Standart G-001 Marine soil investigations; ASTM D-2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System); British Standard BS5930:2015 Code of Practice for Ground Investigations. В России нормативно не закреплена необходимость проводить оценку качества образцов грунта.

Оценка качества лабораторных образцов грунта проводится для повышения надежности результатов лабораторного определения механических характеристик [14, 15]. Она может быть качественной и количественной. Качественную (визуальную) оценку осуществляют в полевых и лабораторных условиях: оценивается форма монолита, его сплошность и однородность.

Количественная оценка может выполняться в лабораторных условиях по методике Терцаги [16] или Лунне [17]. Методики объединяет общий подход – на этапе реконсолидации (при приложении к образцу бытового давления) оценивается сжатие образца грунта по объемной деформации или коэффициенту пористости (таблица 1). Если изменение контролируемого параметра незначительное, то считается, что образец грунта сохранил свою природную структуру и обладает высоким качеством. Значит получаемые при его испытании механические характеристики считаются достоверными. При низком качестве образца рекомендуется определять только физические характеристики.

Таблица 1

Методики определения качества образцов грунта

Значение параметра $\Delta e/e$			Качество по Лунне [11]	Объемная деформация, %	Качество по Терцаги [10]
OCR = 1...2	OCR = 2...4	OCR = 4...6			
до 0.04	до 0.03	до 0.02	Очень хорошее	< 1 %	A
0.04...0.07	0.03...0.05	0.02...0.035	Хорошее	1...2 %	B
0.07...0.14	0.05...0.1	0.035...0.07	Плохое	2...4 %	C
свыше 0.14	свыше 0.1	свыше 0.07	Очень плохое	4...8 %	D
				> 8 %	E

Установлено [8], что большинство образцов грунта, поступающих в грунтовые лаборатории, имеют неудовлетворительное качество из-за нарушенной природной структуры и несовершенства приборов для отбора образцов грунта. Данный эффект усиливается с ростом консистенции глинистых образцов. Некоторые основные физические характеристики – влажность, влажность на границах текучести и раскатывания, гранулометрический состав, плотность твердых частиц грунта – можно определить на образцах любого качества и даже на образцах нарушенной структуры [14, 18, 19]. При определении механических характеристик грунта, более важных на этапе проектирования, вероятность получения некорректных результатов из-за плохого качества образцов очень высока [20, 21]. Также проведен анализ с использованием нейронных сетей [22-24].

Таким образом, целью данной работы являлась оценка качества лабораторных образцов грунта и как следствие, инженерно-геологических изысканий, выполненных на их основе. Для этого из отчетов по инженерно-геологическим изысканиям была создана выборка по паспортам грунта, содержащая категориальные и числовые данные; затем был выполнен начальный анализ выборки и рассчитаны показатели качества образцов грунта используя методики оценки Терцаги и Лунне; далее были установлены факторы, влияющие на качество образца грунта; в завершении был выполнен регрессионный анализ выборки для прогнозирования показателей качества образцов грунта.

2. Материалы и методы

Для оценки качества инженерно-геологических изысканий, проводимых различными изыскательскими организациями на юге Тюменской области, исследовались паспорта лабораторных испытаний образцов грунтов из отчетов по инженерно-геологическим изысканиям.

Был произведен анализ 44 отчетов по инженерно-геологическим изысканиям, выполненных 27 изыскательскими организациями. Изыскания были выполнены с 2012 по 2024 годы на площадках, расположенных на юге Тюменской области: г. Тюмень, г. Тобольск, г. Ишим, с. Ярково, д. Кулаково. Изыскания были выполнены для проектирования объектов жилого, общественного и транспортного назначения. Были изучены данные 2005 паспортов грунта, выполненных в 29 грунтовых лабораториях.

Изыскательские организации, участвовавшие в анализе и включенные в выборку: ЗАО "Интеграл", ИП Панькова Ю.А., ООО "Геокад", ООО "ГЕОФОНД +", ООО "Гидротех", ООО "ИнжГеоСервис", ООО "КИИЗ", ООО "Меркурий", ООО "НЕФТЕГАЗИЗЫСКАНИЯ", ООО "НПК "ПИК", ООО "НПК Статика72", ООО "НПО "ТюмГАСУ", ООО "Перспектива", ООО "ПИИИ Тюменьдорпроект", ООО "СИБРЕЧПРОЕКТ", ООО "СКДС", ООО "СтройГноГарант", ООО "ТАРС", ООО "ТюменьГеоКом", ООО "Урал Гео Групп", ООО "УРЕНГОЙГЕОПРОМ", ООО ИНТ "ЗАПСИБГИДРОПРОМ", ООО Фирма "Прогноз", ФГБОУ ВО ТИУ, ФГБОУ ВО ТюмГАСУ, ФГУП ГПИ и НИИ "Аэропроект".

Заказчиками инженерно-геологических изысканий являлись крупные строительные компании и застройщики: ОАО «ТДСК», ГК ARSIB Development, ГК «Брусника», ГК «ЭНКО», ГК «Навигатор. Девелопмент», ГК «ТИС», СЗ «ЖБИ-3 Девелопмент», ГК «Талан», ООО «Создатели», АО «Страна Девелопмент», АО «Мостострой-11», «Сибур Холдинг». Таким образом, выборка представлена инженерно-геологическими отчетами изыскательских компаний, активно участвующих в гражданском и инфраструктурном строительстве на юге Тюменской области. Хотя исследуемые отчеты и представляют собой законченные продукты, изыскательские компании являются традиционными контрагентами в регионе, поэтому данная выборка может считаться репрезентативной для строительства на юге Тюменской области и отражать региональные особенности изысканий.

Так как цель данной работы состояла в комплексной оценке качества инженерно-геологических изысканий, а не качества материалов изысканий конкретных изыскательских организаций или грунтовых лабораторий, результаты исследований из этических соображений представлены в обезличенном виде.

Согласно всем анализируемым отчетам основным видом определения деформационных характеристик грунтов являлось компрессионное сжатие, а прочностных характеристик – одноплоскостной срез. При проведении компрессионного сжатия отсутствовала ступень реконсолидации и определение модуля деформации не учитывало глубину отбора образца, создаваемые ступени давления также не зависели от глубины отбора образца.

Все изыскательские организации использовали для бурения и отбора образцов механическое колонковое бурение без обсадных труб. Диаметр скважин составлял от 108 до 120 мм при глубине бурения до 15-40 м.

Для инженерно-геологических отчетов характерны некоторые общие особенности, которые могут указывать на недостаточную квалификацию или корректировку данных. Данные особенности эпизодичны, к ним относятся:

1. Отсутствие в таблицах статистической обработки инженерно-геологических элементов (ИГЭ) данных из паспортов испытаний грунтов;
2. Включение в таблицы статистической обработки ИГЭ механических характеристик грунтов, для которых отсутствуют паспорта испытаний;
3. Несоответствие глубины отбора образца в таблицах статистической обработки ИГЭ и в паспортах испытаний грунтов;
4. Несоответствие вида грунта в паспорте испытаний его классификационным показателям по ГОСТ 25100;
5. Несоответствие результатов одноплоскостного среза грунта и полученных прочностных характеристик;
6. Включение в статистическую обработку материалов изысканий прошлых лет, на которые отсутствуют ссылки в отчете, а также информация об их расположении и давности;
7. Полное исключение из выборки при статистической обработке ИГЭ образцов грунта, выполненных в рамках настоящего отчета, и наполнение выборки только материалами изысканий прошлых лет.

В процентном соотношении выборка грунтов содержала преимущественно глинистые грунты (суглинки 59,7%, глины 26,8%, супеси 8,0%, пески 5,5%, торфы 0,1%) от полутвердой до мягкопластичной консистенции. Преобладание суглинков в целом характерно для грунтовых условий юга Тюменской области. Инженерно-геологические

отчеты содержали информацию и о выделенных ИГЭ песков, в основном средней степени сложения мелкого и пылеватого, реже средней крупности. Механические характеристики песков в основном получены по данным статического зондирования, а физические характеристики по образцам, отобранным в кольца-пробоотборники. Кровли песков в большинстве вскрыты на глубинах от 6,5 до 24,0 м, мощностями от 1,2 до 3,8 м. Распределение консистенции глинистых грунтов по глубине (рис. 1, а) не позволяет категорично типизировать особенности грунтовых условий юга Тюменской области. При этом в целом пластичная консистенция глинистых грунтов более распространена, и в целом верхние слои грунтов (примерно до глубины 15,0 м) имеют более высокую консистенцию, чем нижние слои.

Распределение коэффициента пористости по глубине (рис. 1, б, в) и построение статистической диаграммы одномерного распределения вероятностей «Box-plot» позволило определить некоторые особенности для анализируемой выборки грунтов. Так, для песков среднее значение коэффициента пористости составляет 0,65, для глин – 0,95, для суглинков – 0,82, для супесей – 0,67. Для глин и суглинков также характерны большие значения коэффициента пористости, более 1,0, что в основном связано с содержанием органики.

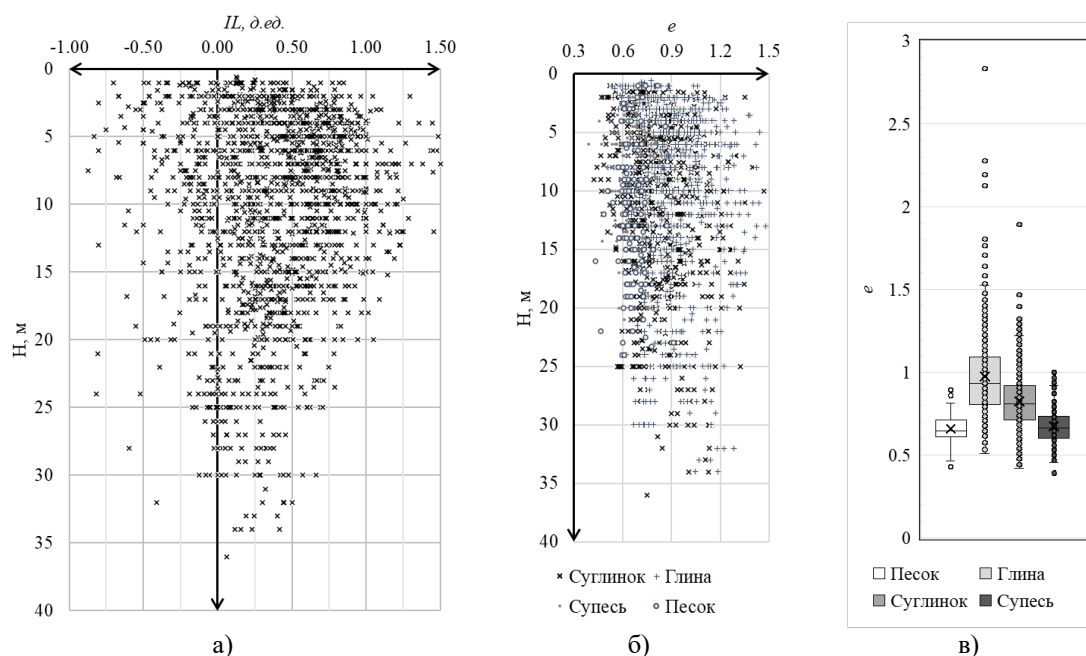


Рис.1. Графики распределения физических характеристик грунтов: а) консистенции глинистых грунтов по глубине; б) коэффициента пористости грунтов по глубине; в) коэффициента пористости в виде «ящика с усами». (иллюстрация автора)

Fig. 1. Distribution graphs of soil physical properties: а) consistency of clayey soils with depth; б) void ratio of soils with depth; в) void ratio presented as a “box-and-whisker plot”. (illustration by the author)

Оценка качества образцов грунта включала следующую последовательность. Вначале по каждому инженерно-геологическому отчету в единую базу данных заносилась общая информация об изыскательской организации и грунтовой лаборатории. Затем заносились координаты геовыработок, а далее по каждому паспорту лабораторных испытаний образцов грунта в базу данных заносились: глубина отбора образца, вид грунта, его физические характеристики, прочностные характеристики и данные компрессионного испытания. Далее определялось бытовое давление на образец грунта. По результатам анализа инженерно-геологических колонок и таблиц физико-механических свойств ИГЭ было оценено значение удельного веса грунтов покрывающих слоев, которое находилось в диапазоне 8,2-19,7 кН/м³ в зависимости от появления УГВ и наличия водоупорного слоя. В работе осреднённое значение было принято равным 13 кН/м³, для водоупорных грунтов 18 кН/м³. Так как программы компрессионных испытаний не содержали этап реконсолидации, то определялся диапазон давлений, вмещающий бытовое давление и

методом линейной интерполяции определялось соответствующее значение относительной деформации или коэффициента пористости. Далее, зная параметры исходного состояния каждого образца грунта и изменение его параметров при действии бытового давления, определялось качество данного образца по используемым методикам.

Для оценки качества лабораторных образцов по методике Лунне необходимо было определить коэффициент переуплотнения OCR. Для всех рассмотренных отчетов площадки исследования не были подвергнуты каким-либо техногенным нагрузкам и сложены грунтами верхнечетвертичного (Q_{III}) и современного (Q_{IV}) отложения, поэтому принималось, что коэффициент OCR был равен единице.

Для косвенной оценки использовалась методика норвежского инженера-геотехника Терье Финн Лунне [11]. Так как она основана на испытании морских глинистых грунтов от мягкопластичной до текучей консистенции и проведении компрессионных испытаний со ступенями нагрузки не более трех часов, что указано в примечаниях к таблице В.1 в СП 23.13330.2018.

Для основной оценки использовалась методика австрийского и американского инженера-геолога Карла Терцаги [10], которая не содержит данных ограничений к применению.

Собранная информация в виде базы данных 2005 компрессионных испытаний позволила оценить каждую изыскательскую организацию и грунтовую лабораторию отдельно и в совокупности, оценить влияние вида грунта, консистенции и глубины отбора на качество лабораторных образцов.

3. Результаты и обсуждение

Оценка всей выборки показала, что качество лабораторных образцов грунта неудовлетворительное: более 35% образцов низкого качества («плохого» и «очень плохого» по Лунне, «D» и «E» по Терцаги) и для них рекомендуется определение только физических параметров.

Оценка качества по обеим методикам показала достаточно близкие результаты, поэтому в дальнейшем использовалась методика Терцаги как более универсальная. В связи с выявленным низким качеством образцов грунта потребовалось определить факторы, которые привели к такому результату.

Оценка каждой изыскательской организации по качеству образцов грунта методом Терцаги выявила, что 35,1% образцов грунта, отраженных в отчетах, имели «низкое» качество и могут быть использованы только для определения физических параметров. У отдельных организаций отсутствовали образцы хорошего качества: у 4 организаций полностью отсутствовало качество «А» и «В», дополнительно у 5 организаций только качество «А». Достоверность определения механических характеристик в этом случае отсутствовала. Только у 7 организаций из 27 общее количество образцов «хорошего» качества превышало количество образцов «плохого качества». Это существенным образом влияло на достоверность данных по ИГЭ в отчетах по инженерным изысканиям. Схожие результаты были получены и для грунтовых лабораторий.

Для оценки влияния вида и консистенции глинистого грунта на качество лабораторных образцов были построены статистические диаграммы «Box-plot», изображающие одномерное распределение вероятностей (Рис. 2), позволившие оценить разброс показателей качества образцов грунта для каждой выборки по консистенции. Установлено, что вне зависимости от вида глинистого грунта на качество образца влияет его консистенция. Глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции лучше, чем грунты с более высокими показателями текучести сохраняли природную структуру. Влияние повышения консистенции грунта на снижение его качества наиболее выражено для глин, чем для суглинков.

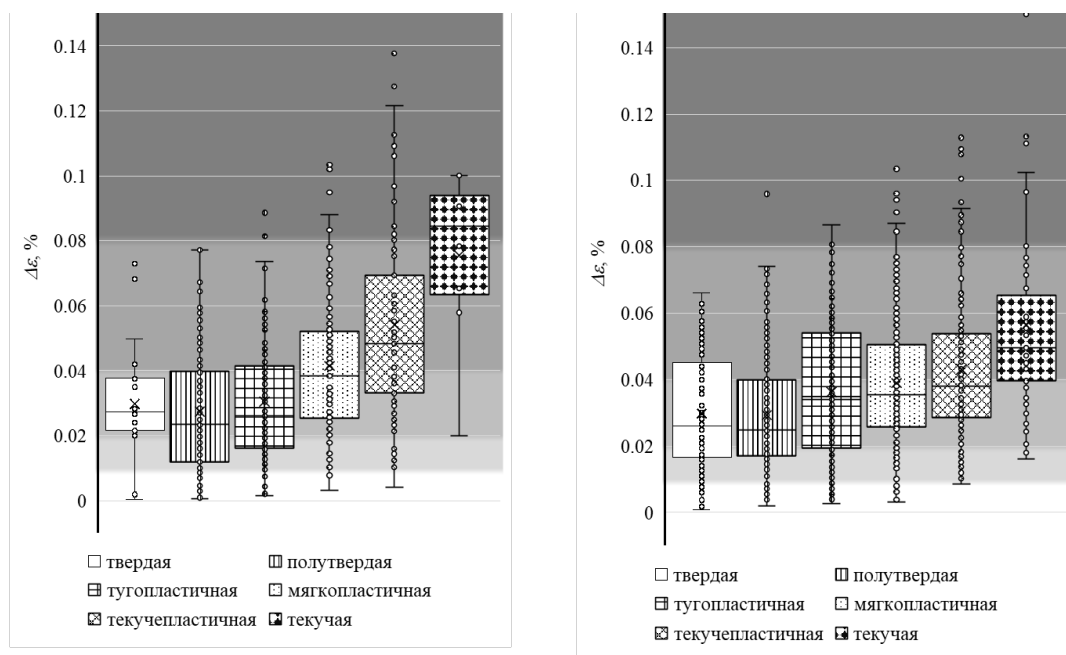


Рис. 2. "Ящик с усами" показателей качества образцов грунта по Терцаги в зависимости от консистенции глины (график слева) и суглинка (график справа). (иллюстрация автора)
 Fig. 2. "Box-and-whisker plot" of soil sample quality indicators according to Terzaghi, depending on clay consistency (left graph) and loam consistency (right graph). (illustration by the author)

Данные результаты вполне логичны, глинистые образцы грунта с выраженной пластичностью и текучестью больше других подвержены деформированию и при их отборе, транспортировке и подготовке к испытанию это свойство оказывает большее влияние на способность сохранения структуры и как следствие на качество образцов грунта.

Для оценки влияния глубины отбора на качество лабораторных образцов грунта был построен общий график для всей выборки (Рис. 3, а). Оценивая данные установлено, что с увеличением глубины отбора происходит ухудшение качества лабораторных образцов. При этом до 75% образцов хорошего качества («А» и «В» по Терцаги) находятся на глубине до 7,0м (Рис. 3, б) и только для них можно надежно определять механические характеристики.

Установив, что на качество образца грунта (сохранение его природной структуры) влияет вид грунта, его консистенция и глубина отбора был выполнен корреляционно-регрессионный анализ для прогнозирования значения $\Delta\varepsilon$ описывающего качество образца грунта по методу Терцаги. Были выделены четыре фактора, влияющие на прогнозируемое значение:

1. Глубина отбора образцов грунта H – как фактор, отражающий природное напряженное состояние;
2. Число пластичности IP – как фактор, отражающий содержание глинистых частиц в грунте;
3. Показатель текучести IL – как фактор, отражающий консистенцию глинистого грунта;
4. Коэффициент пористости e – как фактор, отражающий структуру грунта.

Для всей выборки был выполнен корреляционный анализ. Установлено, что существенное влияние на целевую переменную оказывает глубина отбора: коэффициент Пирсона – 0,64, коэффициент Спирмана – 0,68. Остальные признаки оказывают существенно меньшее влияние: коэффициенты корреляции для показателя текучести и коэффициента пористости в диапазоне 0,25-0,27, для числа пластичности – 0,01-0,02. Для всех признаков была рассчитана статистическая значимость, которая позволила установить ее отсутствие только у числа пластичности.

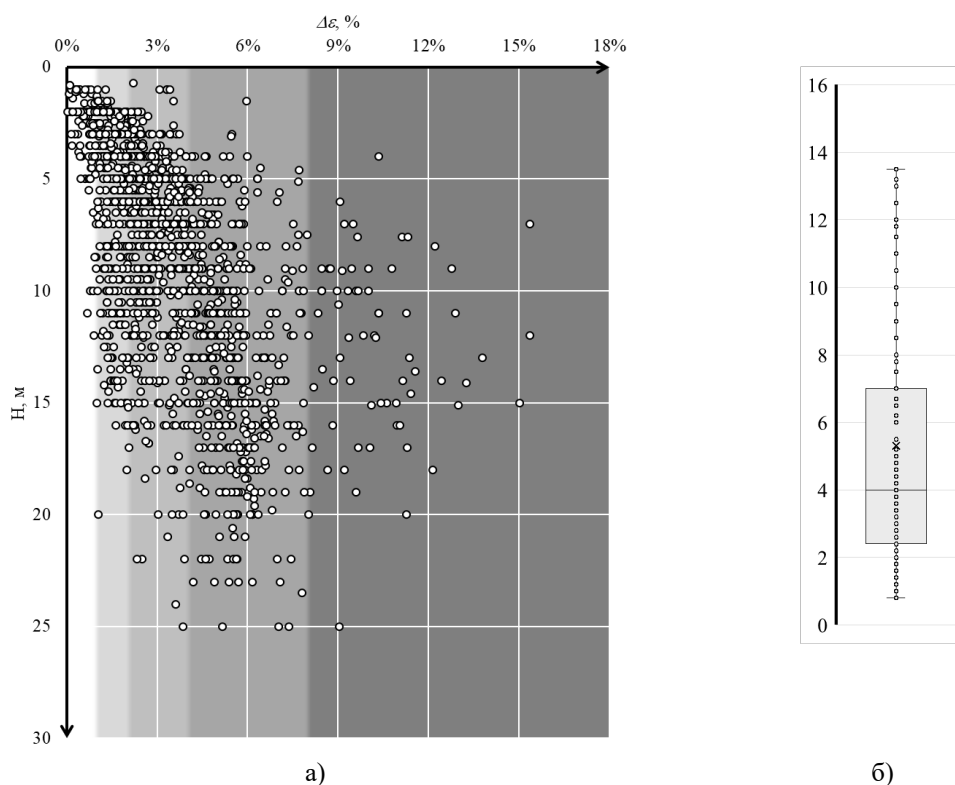


Рис. 3. Графики распределения качества лабораторных образцов в зависимости от глубины отбора:

а) общая выборка данных; б) качества «А» и «В» в виде «ящика с усами». (иллюстрация автора)
 Fig. 3. Graphs of the distribution of the quality of laboratory samples depending on the sampling depth:
 а) general data sample; б) quality “A” and “B” as a “box-and-whisker plot”. (illustration by the author)

Для всех признаков был рассчитан фактор инфляции дисперсии для оценки мультиколлинеарности. Было установлено, что коэффициент пористости обладает высокой мультиколлинеарностью и будет влиять на стабильность регрессионного анализа, а также на надежность определения коэффициентов регрессии, поэтому он был исключен.

Регрессионный анализ проводился на основе аналитических методов, методов машинного обучения и нейронных сетей [22]. Оценка регрессионной модели проводилась по коэффициенту детерминации R^2 (Таблица 2). Использование аналитических методов было приоритетным, так как их результатом являются уравнения с коэффициентами регрессии. Методы машинного обучения и нейронные сети [23] использовались как альтернативные методы, так как результатам регрессионного анализа является обученная модель.

Прогнозирование значения $\Delta\varepsilon$, оценивающего качество образца по методу Терцаги (Таблица 1) показало следующие результаты:

- лучшей моделью является модель машинного обучения на основе опорных (SVR) с нелинейным ядром RBF, коэффициент детерминации $R^2 = 0,592$;
- лучшей аналитической моделью является полином второй степени с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,534$ (1).

$$\Delta\varepsilon = 0,0024 + 0,0037 \cdot H + 0,0003 \cdot IP - 0,0167 \cdot IL - 0,0001 \cdot H^2 + 0,0011 \cdot H \cdot IL + 0,0017 \cdot IP \cdot IL + 0,0061 \cdot IL^2 \quad (1)$$

Не высокие, менее 0.7, значения коэффициентов детерминации не позволяли надежно прогнозировать значение целевой переменной. Поэтому используя три лучшие регрессионные модели решалась задача обратной оптимизации методом Монте-Карло по 30000 случайным точкам для определение диапазона возможных значений отбора образцов грунта высокого качества.

Таблица 2

Результаты регрессионных анализов

№ п/п	Метод регрессии	Статистические показатели				Результат
		R^2	RMSE	MAE	MAPE	
1	Линейный	0.421	0.015	0.01	0.453	Коэффициенты регрессии
2	Полиномиальный 2 степени (квадратичный)	0.534	0.013	0.009	0.38	
3	Полиномиальный 3 степени (кубический)	0.52	0.013	0.009	0.398	
4	Логарифмический	0.448	0.014	0.01	0.443	
5	Степенной	0.459	0.014	0.009	0.347	
6	Экспоненциальный	0.242	0.017	0.011	0.4	
7	Lasso-регрессия	0.421	0.015	0.01	0.453	
8	На основе опорных векторов (SVR) с нелинейным ядром RBF	0.592	0.012	0.009	0.386	Обученная модель
9	На основе деревьев: решающее дерево (Decision Tree Regressor)	0.469	0.014	0.01	0.406	
10	На основе деревьев: случайный лес (Random Forest Regressor)	0.559	0.013	0.009	0.373	
11	На основе деревьев: градиентный бустинг (Gradient Boosting Regressor)	0.567	0.013	0.009	0.387	
12	Гауссовские процессы с нелинейным ядром ConstantKernel и RBF	-1.1	0.028	0.02	0.584	
13	Нейронная сеть с моделью Sequential и двумя скрытыми слоями	0.339	0.016	0.012	0.5	

Примечание: RMSE (Root Mean Squared Error) – корень средневзвешенной квадратической ошибки, MAE (Mean Absolute Error) – средняя абсолютная ошибка, MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – средняя абсолютная ошибка в процентах

Было установлено, что образцы глинистых грунтов высокого качества («А» и «Б» по классификации Терцаги) любой консистенции могут быть отобраны колонковой трубой с глубины не более пяти метров. При отборе с большей глубины консистенция глинистых грунтов должна быть менее 0,5 или при отборе необходимо использовать грунтоносы.

Результаты проведенных исследований хорошо согласуются с данными, приведенными в работах авторов [4, 6, 18], где также были получены схожие выводы о влиянии консистенции глинистых грунтов и глубины отбора на качество образцов грунта. В работе [18] исследовался меньший диапазон консистенции глинистых грунтов и другой способ отбора. В работах исследовалась [4, 6] меньшая глубина отбора и различные способы отбора, также проводилось исследование с отбором образцов почв. Близки результаты были получены в работе [8, 9] при анализе инженерно-геологических изысканий на территории Санкт-Петербурга с совпадением общей оценки качества инженерно-геологических изысканий, влияющих на это факторов. При этом построение модели про прогнозирования качества образцов грунта не проводилось.

4. Заключение

На основе данного анализа, можно сделать следующие выводы, отражающие региональные условия на юге Тюменской области:

1. Преобладающими грунтами являются суглинки различной консистенции, преимущественно туго- и мягкопластичные. Особенностью глинистых грунтов является высокие значения коэффициента пористости (более 0,8) и содержание органических веществ.
2. Изыскательские организации, являясь традиционными участниками строительного рынка в целом не обеспечивают высокое качество образцов грунта, отбираемых с различных глубин. На строительном рынке присутствуют организации, проводящие отбор образцов только «плохого» качества.

3. Качество образцов грунта, поступающих в грунтовые лаборатории, зависит от консистенции глинистых грунтов (чем больше пластичность, тем качество ниже), глубины отбора (чем глубже, тем качество ниже), коэффициента пористости (чем выше значение, тем качество ниже), числа пластичности (чем больше значение, тем качество выше).
4. Образцы хорошего качества («А» и «В» по Терцаги) в основном относятся к глинистым грунтам от твердой до тугопластичной консистенции отобранных с глубины менее 7,0 м. Только для этих образцов надежность получаемых характеристик оценивается как достоверная. Для более пластичных консистенций глинистых грунтов и большей глубины отбора надежность получаемых параметров оценивается как низкая.
5. Получено общее уравнение для определения значения $\Delta\epsilon$ для оценки качества образцов глинистых грунтов по методу Терцаги. Данное уравнение позволяет провести предварительную оценку качества грунта по его физическим характеристикам.
6. В целом качество инженерно-геологических изысканий, основываясь на качестве образцов грунта, поступающих в грунтовые лаборатории, является низким.
7. Получен диапазон возможных значений отбора образцов грунта высокого качества, который показал, что при помощи колонковой трубы образцы высокого качества глинистых грунтов любой консистенции могут быть отобраны с глубины не более 5,0 м. При отборе с большей глубины консистенция должна быть менее 0,5 или необходимо использовать грунтоносы.

Невозможно определить, на каком этапе – полевом или лабораторном – происходит существенное изменение структуры образцов грунта. Для повышения качества лабораторных образцов грунта необходимо провести контроль качества на каждом этапе изысканий, для ответственных объектов рекомендуется проводить надзор сторонней специализированной организацией.

Список литературы/ References

1. Макарычев К. В., Анжаурова К. С. Аварии зданий и сооружений вызванные ошибками при производстве инженерных изысканий // Современные научные исследования и инновации. 2020. № 6 (110). С. 2.
Makarychev K. V., Anzhaurova K.S. Accidents of buildings and structures caused by errors in the production of engineering surveys // Modern scientific research and innovations. 2020. No. 6(110). P. 2.
2. Wu Er, Lan Nila. An analytical study of the hazards of geological problems in engineering geological investigation // Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2025. Vol. 10. P. 1-16. DOI: 10.2478/amns-2025-0751.
3. Zakharov M.S., Lavrusevich A.A., Kropotkin M.P. Right people should do the right case by the right methods // Engineering survey. 2018. No. 5 (12). P. 6–19. DOI:10.25296/1997-8650-2018-12-5-6-6-19.
4. Nicoletti J.V.M.M., Franchi M.R.A.A., Motomiya A.V. d. de A., Motomiya W.R., Molin J.P. Efficiency and quality of soil sampling according to a sampling tool // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2023. No. 6(27). P. 480–486. DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v27n6p480-486.
5. Панков А. А. Экспериментальная оценка информативности инженерно-геологических исследований // Разведка и охрана недр. 2009. № 8. С. 36-39.
Pankov A. A. Experimental assessment of the information content of engineering-geological studies // Mineral exploration and conservation. 2009. No. 8. - P. 36-39.
6. Abate G. G. Soil sampling and sample preparation. AGBIR. 2025. Vol. 41(2). P. 1-5. DOI: 10.37532/0970-1907.24.40.6.1-5.
7. Крпоткин М. П., Фоменко И. К. Инженерно-геологические изыскания в России сегодня: проблемы нормативной технической документации, экспертизы и контроля качества // Инженерные изыскания. 2021. № 5-6/2021(XV). DOI:10.25296/1997-8650-2021-15-5-6-8-23.
Kropotkin M.P., Fomenko I.K. Engineering and geological surveys in Russia today: problems of regulatory technical documentation, examination and quality control // Engineering surveys. 2021. No. 5-6/2021(XV). DOI:10.25296/1997-8650-2021-15-5-6-8-23.

8. Васенин В. А. Статистическая оценка параметров нарушения природной структуры лабораторных образцов глинистых отложений при инженерно-геологических изысканиях на территории Санкт-Петербурга и окрестностей // Инженерная геология. 2018. Т. 13. № 6. С. 48-65. DOI 10.25296/1993-5056-2018-13-6-48-65.
Vasenin V. A. Statistical assessment of the parameters of disturbance of the natural structure of laboratory samples of clay deposits during engineering and geological surveys in St. Petersburg and its surroundings // Engineering Geology. 2018. Vol. 13. No. 6. P. 48-65. DOI 10.25296/1993-5056-2018-13-6-48-65.
9. Васенин В. А. Фильтрационные свойства глинистых отложений г. Санкт-Петербурга. Часть 2. Исследование изменения индекса фильтрации и учет нарушения природной структуры образцов // Инженерная геология. 2020. Т. 15. № 4. С. 6-19. DOI 10.25296/1993-5056-2020-15-4-6-19.
Vasenin V. A. Filtration properties of clayey deposits of St. Petersburg. Part 2. Study of changes in the filtration index and accounting for the disturbance of the natural structure of samples // Engineering Geology. 2020. Vol. 15. No. 4. P. 6-19. DOI 10.25296/1993-5056-2020-15-4-6-19.
10. Шарафутдинов Р. Ф. Нормативное обеспечение определения параметров моделей нелинейного механического поведения грунтов с упрочнением // Construction and Geotechnics. 2023. Т. 14. № 1. С. 29-42. DOI 10.15593/2224-9826/2023.1.03.
Sharafutdinov R. F. Regulatory support for determining the parameters of models of nonlinear mechanical behavior of soils with strengthening // Construction and Geotechnics. 2023. Vol. 14. No. 1. P. 29-42. DOI 10.15593/2224-9826/2023.1.03.
11. Ремизова Н. В. Влияние структуры образцов слабых глинистых грунтов на результаты определения недренированной прочности // Экономика строительства. 2024. № 6. С. 298-302
Remizova, N. V. Influence of the structure of weak clay soil samples on the results of determining undrained strength // Economics of construction. 2024. No. 6. P. 298-302
12. Давыдов М. Г., Засорина О. А., Сай В. О. Оценка сохранности природной структуры образцов глинистых грунтов // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2011. Т. 261. С. 25-34
Davydov M. G., Sai V. O., Zazorina O. A. Assessment of the preservation of the natural structure of clay soil samples // News of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after. B. E. Vedeneev. 2011. Vol. 261. P. 25-34
13. Monforte, Lluís & Arroyo, Marcos & Gens, Antonio. Numerical simulation of soil structure damage upon sampling // E3S Web of Conferences. 2024. P. 544. DOI: 10.1051/e3sconf/202454403003.
14. Королева И. В., Сапутра Х. Анализ поведения серых глин в условиях трехосного нагружения при разных значениях влажности и условиях нагружения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 4(70). С. 54-62. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.5
Koroleva I. V., Saputra Kh. Analysis of the behavior of gray clays under triaxial loading at different moisture values and loading conditions // News KSUAE. 2024. No. 4(70). P. 54-62. DOI 10.48612/NewsKSUAE/70.5
15. Mabit L., Fulajtar E., Toloza A., Ochoa V., Maestroni B. Implementation and Optimization of Soil Sampling: Some Practical Guidance and Considerations // Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management. 2018. P. 47–63. DOI: 10.1016/B978-0-12-816155-5.00004-X.
16. Terzaghi K., Peck, Ralph B., Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice 1996. 592 p.
17. Lunne T., Berre T., Strandvik S. Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay // Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. 1997. P. 81–102.

18. Da Fonseca, António & Pineda, Jubert. (2017). Getting high-quality samples in 'sensitive' soils for advanced laboratory tests. Innovative Infrastructure Solutions. 2. 1-42. DOI:10.1007/s41062-017-0086-3.
19. Uzielli Marco. The role of data in the evolution of geotechnical design. Rivista Italiana di Geotecnica. 2024. P. 22. DOI: 10.19199/2024.2.0557-1405.022.
20. Иовлев Г. А., Пискунов Н. С., Бахвалов Е. Д., Очкуров В. И. Методы оптимизации параметров нелинейных грунтовых моделей для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 7. С. 148-163. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_7_0_148
Iovlev G. A., Piskunov N. S., Bakhvalov Ye. D., Ochukrov V. I. Methods for optimizing the parameters of nonlinear soil models for engineering-geological conditions of St. Petersburg // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2022. No. 7. P. 148-163. DOI 10.25018/0236_1493_2022_7_0_148
21. Хачатрян В. А. Качество инженерно-геологических изысканий и особенности современных геотехнических расчетов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5-1. С. 110-114
Khachatryan V. A. Quality of engineering-geological surveys and features of modern geotechnical calculations // Current problems in the humanities and natural sciences. 2016. No. 5-1. P. 110-114
22. Нешумов Е. В. Применение языка программирования Python при анализе регрессионных моделей в страховании жизни // Образование и наука без границ: социально-гуманитарные науки. 2022. № 18. С. 71-76
Neshumov Ye. V. Application of the Python programming language in the analysis of regression models in life insurance // Education and science without borders: social sciences and humanities. 2022. No. 18. P. 71-76
23. Офрихтер Я. В., Боталов С. А. Оценка модуля деформации грунтов с помощью искусственных нейронных сетей // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2021. Т. 2. С. 55-63
Ofrikhter Ya. V., Botalov S. A. Evaluation of the soil deformation modulus using artificial neural networks // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2021. Vol. 2. P. 55-63
24. Мирсаяпов И. Т., Наклеевский Я. М. Прогнозирование вертикальных деформаций оснований фундаментов зданий окружающей застройки при устройстве глубокого котлована // Теория и практика фундаментостроения: Сборник тезисов докладов XV Международного симпозиума по реологии грунтов. Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет. 2025. С. 133.
Mirsayapov I. T., Nakleyevsky Ya. M. Prediction of vertical deformations of building foundations in surrounding development when excavating deep pits // Theory and Practice of Foundation Engineering: Collection of Abstracts of the XV International Symposium on Soil Rheology. Kazan: Kazan State University of Architecture and Engineering. 2025. P. 133.

Информация об авторах

Мельников Роман Викторович, кандидат технических наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация.
Email: melnikovrv@tyuiu.ru, ORCID: 0000-0002-8369-3206

Information about the authors

Roman V. Melnikov, candidate of technical sciences, associate professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation
Email: melnikovrv@tyuiu.ru, ORCID: 0000-0002-8369-3206

Дата поступления: 14.04.2025

Дата принятия: 22.10.2025