



# МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ГРУНТАХ

## METHODS OF LABORATORY DETERMINATION OF ORGANIC SUBSTANCES IN SOILS

### **ЗДОБИН Д.Ю.**

Старший научный сотрудник лаборатории географии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, ученый секретарь Охотинского общества грунтоведов, к.г.-м.н., г. Санкт-Петербург, [zdobin\\_soil@mail.ru](mailto:zdobin_soil@mail.ru)

### **СОКОЛОВА Ю.Ю.**

Начальник геологической группы ОАО «ЛенморНИИпроект», г. Санкт-Петербург, [jsokolova@mail.ru](mailto:jsokolova@mail.ru)

### **БАХМАТОВА К.А.**

Старший научный сотрудник лаборатории географии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, к.б.н., доцент, г. Санкт-Петербург, [geosoil@mail.ru](mailto:geosoil@mail.ru)

### **СВЕРТИЛОВ А.А.**

Начальник отдела технического регулирования и контроля инженерных изысканий ОАО «Росстройизыскания», к.г.-м.н., г. Москва, [svertilov@yandex.ru](mailto:svertilov@yandex.ru)

### **МАТИНЯН Н.Н.**

Заведующий лабораторией географии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, д.б.н., профессор, г. Санкт-Петербург

### **ГОСТИНЦЕВА Е.В.**

Аспирант лаборатории географии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург

### **СЕМЕНОВА Л.К.**

Начальник грунтовой испытательной лаборатории ОАО «Трест геодезических работ и инженерных изысканий (Трест ГРИИ)», г. Санкт-Петербург, [trestgrii\\_lab@mail.ru](mailto:trestgrii_lab@mail.ru)

### **ZDOBIN D.YU.**

Senior staff scientist of the Soil Science Laboratory of the Earth Sciences Institute of St. Petersburg State University, academic secretary of the «Okhotin Society of Soil System» Regional Public Scientific Organization, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), St. Petersburg, [zdobin\\_soil@mail.ru](mailto:zdobin_soil@mail.ru)

### **SOKOLOVA YU.YU.**

Chief of the Geology Group of the «LenmorNIIProekt» OJSC, St. Petersburg, [jsokolova@mail.ru](mailto:jsokolova@mail.ru)

### **BAKHMATOVA K.A.**

Senior staff scientist of the Soil Science Laboratory of the Earth Sciences Institute of St. Petersburg State University, PhD (candidate of science in Biology), associate professor, St. Petersburg, [geosoil@mail.ru](mailto:geosoil@mail.ru)

### **SVERTILOV A.A.**

Head of the Division of Technical Regulation and Engineering Surveys Control of the «Rosstroyizyskaniya» OJSC, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow, [svertilov@yandex.ru](mailto:svertilov@yandex.ru)

### **MATINYAN N.N.**

Head of the Soil Science Laboratory of the Earth Sciences Institute of St. Petersburg State University, DSc (doctor of science in Biology), professor, St. Petersburg

### **GOSTINTSEVA E.V.**

Postgraduate student of the Soil Science Laboratory of the Earth Sciences Institute of St. Petersburg State University, St. Petersburg

### **SEMENOVA L.K.**

Chief of the Soil Test Laboratory of the «Trust of Geodesic Works and Engineering Surveys» OJSC, St. Petersburg, [trestgrii\\_lab@mail.ru](mailto:trestgrii_lab@mail.ru)

### **Ключевые слова:**

грунт; органические вещества; методы лабораторного определения; актуализация ГОСТ 23749-79.

### **Key words:**

soil; organic substances; methods of laboratory determination; actualization of the GOST 23749-79.

### **Аннотация**

В статье рассматриваются методы определения содержания в грунтах органических веществ, принятые в литологии, почвоведении и грунтоведении. Анализируются преимущества и недостатки каждой методики. На основе современных представлений о структуре и состоянии органических веществ в природных дисперсных системах предлагается новый метод определения органического углерода при инженерных изысканиях для строительства. Основные положения данной статьи были изложены на Второй практической конференции «Современные методы полевых и лабораторных исследований грунтов», которая проходила в г. Москве в апреле 2014 года. По результатам двухгодичных исследований была подготовлена актуализированная редакция ГОСТ 23740-79 «Грунты. Методы определения содержания органических веществ», находящаяся сейчас на стадии обсуждения. В основу методической базы новой редакции ГОСТ 23740-79 легли материалы, представленные в данной публикации. Читатели журнала приглашаются к обсуждению вопросов, рассмотренных в статье.

### **Abstract**

Methods of determination of organic substances in soils accepted in Lithology and Soil Science are considered. Advantages and shortcomings of the each technique are analyzed. A new method of organic carbon determination on the basis of the modern ideas of the structure and condition of organic substances in natural disperse systems is proposed for engineering surveys for construction. The main propositions of this article were presented at the Second Practical Conference of «Modern methods of field and laboratory investigations of soils» held in Moscow in April 2014. According to results of two-year studies an actualized edition of the GOST 23740-79 («Soils. Methods of determination of organic substances content») was prepared. Now it is under discussion. The materials presented in this article were used as the methodological basis of the new edition of the GOST 23740-79. The readers are invited to discuss the problems considered in this article.



**Введение**

Органические вещества в грунтоведении изучают с целью установления их влияния на физико-химические и механические свойства грунтов. Обладая высокой гидрофильностью, сильной сжимаемостью и низкой водопроницаемостью, эти вещества придают грунтам специфические свойства, влияя на их пластичность, консистенцию и агрегированность.

Свойства грунтов, содержащих органические вещества, зависят от количества, типа и степени разложения этих составляющих.

При увеличении количества органических веществ, как правило, возрастают естественная влажность, пределы пластичности грунта, обменная способность содержащихся в нем катионов, тогда как его плотность и плотность частиц уменьшаются. Также существенно снижаются прочностные характеристики грунта. Особенно сильно наличие органического углерода ( $C_{орг}$ ) сказывается на деформационных свойствах: в заторфованных грунтах фильтрационная (первичная) консолидация всегда намного короче, чем вторичная.

При лабораторном определении свойств грунтов при инженерно-геологических изысканиях для строительства определяют относительное содержание органических веществ  $I_r$ . По этому классификационному показателю дисперсные грунты в соответствии с основным нормативным документом — ГОСТ 25100-2011 [12] — подразделяются на три разновидности: минеральные, органо-минеральные и органические (табл. 1)<sup>1</sup>.

Необходимо различать два подхода к определению содержания  $C_{орг}$  в грунтах, которые являются объектами для двух разных направлений исследований — для почвоведения и для грунтоведения и инженерной геологии, связанных со строительством.

*Определение содержания  $C_{орг}$  для целей почвоведения и агрохимии.* Гумус — важная составная часть почвы. Его химический состав, процентное соотношение разных элементов и взаимодействие как с твердой, так и с жидкой фазой почвы необходимо изучать на генетическом уровне, т.к. от этого зависит прежде всего плодородие почв. Все это заставляет рассматривать  $C_{орг}$  во всех его аспектах, в т.ч. с использованием генетического подхода.

*Определение содержания  $C_{орг}$  при инженерно-геологических изысканиях для строительства.* Здесь важно только процентное содержание  $C_{орг}$  — строительный или геотехнический показатель. Относительное содержание органического углерода в дисперсных связных грунтах является классификационным показателем, разделяющим их на минеральные, органо-минеральные и органические.

Кроме того, необходимо четко разделять два вида углерода — органический ( $C_{орг}$ ) и карбонатный ( $C_{карб}$ ). Если  $C_{орг}$  — это современная лабильная биотическая

фаза грунта, оказывающая сильное влияние на его физико-химические, прочностные и деформационные свойства, то  $C_{карб}$  — это углерод, входящий в состав карбоната кальция ( $CaCO_3$ ), являющегося компонентом твердой фазы грунта. Для определения карбонатности грунтов применяются совершенно другие методы и методики исследований.

**Органические вещества в почвах**

Гумус почв представляет собой сложную систему, состоящую из специфических (гуминовых кислот, фульвокислот, гумина) и неспецифических (в основном низкомолекулярных органических кислот, являющихся продуктами метаболизма растений и микроорганизмов) компонентов. В состав почвенных органических веществ не входят остатки растений, сохранившие анатомическое строение, и живые организмы почвы (так называемый эдафон). В связи с этим процедура подготовки почвы к определению содержания органических веществ предусматривает отбор и удаление из пробы корешков и визуально различимых растительных остатков. Гумусовые кислоты, подлежащие определению, являются производными периферической части органических остатков, относительно легко подвергающейся микробной деструкции.

Источником для формирования гумусовых веществ почвы является биомасса наземных экосистем, главным образом растительные остатки. Процесс, в результате которого органические вещества индивидуальной природы, входящие в состав растительных тканей, превращаются в специфические гумусовые вещества, именуется гумификацией. С точки зрения термодинамики он всегда направлен на отбор устойчивых продуктов трансформации независимо от факторов почвообразования и типа почвы. Поэтому гуминовые вещества всех почв имеют общий принцип строения [16].

Интенсивность гумификации зависит от факторов, влияющих на активность микрофлоры (температуры, влажности, pH, окислительно-восстановительного потенциала, пищевого режима, наличия активаторов и ингибиторов), а также от факторов, влияющих на устойчивость трансформируемых соединений (структуры преобразуемых веществ, минерального состава почв, их обогащенности кальцием, полуторными ок-

Таблица 1

Классификация грунтов по относительному содержанию органических веществ $I_r$ (по табл. Б.22 [12])		
Разновидности грунтов		Относительное содержание органических веществ $I_r$ , д.ед.
Минеральные		$I_r \leq 0,03$
Органо-минеральные	с примесью орг. веществ	$0,03 < I_r \leq 0,10$
	с низким содержанием орг. веществ	$0,10 < I_r \leq 0,30$
	с высоким содержанием орг. веществ	$0,30 < I_r < 0,50$
Органические	$I_r \geq 0,50$	

<sup>1</sup> Имеется явная ошибка в нормативном документе [9]. «Минеральный», «органо-минеральный», «органический» – виды грунтов. «С примесью органического вещества» — разновидность (подвид) грунтов. Совмещение вида и разновидности в одной таблице в приложении Б ГОСТ 25100-2011 [9] (разновидности грунтов) неправильно.

сидами). Соотношение гуминовых и фульвокислот в составе гумуса показывает очень тесную связь с периодом биологической активности, когда температура воздуха устойчиво выше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а запас продуктивной влаги в почве составляет не менее 1–2%. При одинаковом периоде биологической активности (ПБА) почв состав гумуса будет зависеть от других условий, в частности от гранулометрического и химико-минерального состава почвообразующих пород. Фракционный состав, характеризующий распределение гумусовых веществ по формам их связи с минеральными компонентами почвы, является функцией рН, степени минерализации почвенного раствора и минерального состава глинистой фракции [16].

Кроме собственно почв, в которых присутствие гумуса неоспоримо, особняком стоят гидроморфные почвы и оглеенные почвогрунты, в которых, как правило, развивается анаэробная бактериальная масса.

Для органо-минеральных горизонтов почвы характерно тесное взаимодействие гумусовых веществ с минеральной матрицей почвы. Известен ряд следующих механизмов такого взаимодействия.

1. *Сорбция гумусовых веществ минеральными соединениями твердой фазы.* Сюда относятся: ионный обмен, хемосорбция, комплексообразовательная сорбция, поглощение межслоевым пространством глинистых минералов. В результате образуются сорбционные комплексы, глиногумусовые комплексы, играющие значительную роль в стабилизации почвенного профиля и формировании структуры почв.

2. *Образование комплексно-гетерополярных солей.* В этом случае гумусовые вещества взаимодействуют с поливалентными ионами (Fe (III), Al (III), Fe (II), Cu (II), Zn (II) и др.) таким образом, что металл входит в анионную часть молекулы и теряет способность вступать в реакции ионного обмена. Этот процесс влияет на растворимость и межфазное распределение металлов, их миграцию и аккумуляцию.

3. *Образование простых гетерополярных солей.* Этот механизм взаимодействия характерен для щелочных металлов, аммония, кальция и магния. Образуются соли — гуматы и фульваты. Ионы металлов в этих соединениях легко диссоциируют и обмениваются с другими катионами почвенного раствора [1].

Органические вещества и процессы их трансформации играют огромную роль в формировании почвы и ее характеристик. К числу функций органических веществ здесь относятся: формирование почвенных агрегатов, влияние на водно-физические свойства почвы, формирование ее сорбционных, кислотно-основных и буферных свойств. Все важнейшие процессы в почвах протекают при прямом или косвенном участии органических веществ. Последние активно участвуют в питании растений непосредственно (как источник биогенных элементов и биологически активных соединений) и опосредованно (через влияние на биологическую и биохимическую активность почв). Гумус почв выполняет санитарно-защитные функции, т.к. ускоряет разложение пестицидов, способствует за счет процессов сорбции и комплексообразования иммобилизации токсикантов (например, тяжелых металлов) или благоприятствует выносу некоторых токсикантов.

Роль органических веществ почв в генезисе и плодородии последних объясняет глубокий интерес почвоведов к их исследованию. Определение содержания органического углерода является одной из диагностических характеристик почв при их базовом анализе. С практической точки зрения знание этой величины для сельскохозяйственных угодий, а также ее регулярный контроль позволяют рассчитывать и регулировать баланс углерода гумусовых веществ в пахотных землях. Определив  $C_{\text{орг}}$  в пахотном горизонте, можно рассчитать нормы внесения органических удобрений, необходимые для оптимизации гумусового режима и поддержания бездефицитного баланса гумуса [17].

### **Методики определения содержания органических веществ в почвах**

Нормативным документом, содержащим методику определения органического углерода в почвах, является ГОСТ 26213-91 [13]. Он устанавливает фотометрический и гравиметрический методы определения содержания органических веществ в почвах, вскрышных и вмещающих породах. Для органо-минеральных горизонтов предназначается определение содержания органических веществ методом Тюрина в модификации ЦИНАО. Данный метод основан на окислении органических веществ раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте и последующем определении трехвалентного хрома, эквивалентного содержанию органических веществ, фотоколориметрическим способом. Данный метод непригоден для почв с массовой долей хлорида выше 0,6% и проб с массовой долей органических веществ более 15%. Подготовка пробы предусматривает удаление корешков и растительных остатков, а также ее измельчение, чтобы она проходила через сито с диаметром ячеек 0,25 мм. Окисление органических веществ осуществляется в пробирках. Массу пробы в зависимости от их предполагаемого содержания выбирают в диапазоне от 50–100 до 500–700 мг. Почву заливают  $10\text{ см}^3$  хромовой смеси, нагревают на водяной бане, после охлаждения добавляют воду и дают отстояться, а затем колориметрируют. В качестве растворов для сравнения используется хромовая смесь, к которой добавлены заданные количества восстановителя (соли Мора или раствора семиводного сульфата железа в концентрации  $0,1\text{ моль/дм}^3$ ).

Гравиметрический метод определения массовой доли органических веществ используется для торфяных и оторфованных горизонтов почв. Он основан на определении потери массы пробы после прокаливания при температуре  $525\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  согласно ГОСТ 27784-88 [14]. Пробу измельчают и пропускают через сито с диаметром ячеек 5 мм. Сначала путем высушивания при  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  определяют сухую массу почвы. Затем почву, высушенную при  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ , помещают в холодную муфельную печь и постепенно нагревают до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При появлении дыма печь выключают, дверцу открывают. Затем в течение 1 ч температуру печи постепенно доводят до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После прекращения выделения дыма печь закрывают, температуру доводят до  $525\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при которой тигли с почвой прокаливают в течение 3 ч. Тигли с зольным остатком вынимают из печи, закрывают, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Несго-



ревшие частицы дожигают, добавив в тигли по несколько капель горячей дистиллированной воды или 3%-ной перекиси водорода и повторно прокалив их в печи в течение 1 ч при температуре 525 °С. После охлаждения тигли взвешивают и оценивают изменение массы остатка. Если оно составило не более 0,005 г, то прокалывание прекращают, если же разница больше, ведут прокалывание до тех пор, пока разница между результатами двух последовательных взвешиваний не будет менее 0,005 г.

### **Органические вещества в грунтах**

Рассматривая органические вещества в грунтах, необходимо отметить прежде всего природу их происхождения. Если в почвах органические вещества всегда субаэрального происхождения, то в остальных грунтах они могут быть как субаэрального, так и субаквального генезиса (в морских отложениях, илах). Из-за очень сложной и далеко не до конца изученной природы органических веществ в морских осадках определение их содержания методами, принятыми в почвоведении, представляется небесспорным. В современных морских донных грунтах равноправно присутствуют органические вещества растительного (из фитопланктона и фитобентоса) и животного (из зоопланктона и зообентоса) происхождения, причем в значительной мере в растворенной форме. Более того, встречаются органо-минеральные грунты четвертичного возраста, имеющие в своем составе органические вещества животного происхождения (например, грунты микулинского горизонта в Санкт-Петербурге). В этом случае вести речь о гумусе по меньшей мере спорно — скорее можно осторожно говорить о некой битумизации органических веществ и переходе их в более высокомолекулярные формы.

Все это заставляет задуматься о корректировке существующих методов и традиционных подходов к определению содержания органических веществ в грунтах.

Биогическая фаза минеральных и органо-минеральных грунтов, составной частью которой являются органические вещества, мало изучена по двум причинам — из-за недостаточной распространенности таких грунтов на земной поверхности, за исключением шельфа и океанического дна, и из-за очень сложной природы самих органических веществ, отличающихся непостоянным химическим составом и резкой фациальной изменчивостью как в плане, так и в разрезе.

Следует отметить, что большой вклад в методику определения органических веществ в грунтах внес Н.П. Бетелев [4, 6, 8].

### **Российские методики определения содержания органического углерода в грунтах**

Методы лабораторного определения содержания органических веществ в грунтах в РФ устанавливает ГОСТ 23740-79 [11]. Данный стандарт распространяется на песчаные и глинистые грунты и регламентирует методы лабораторного определения содержания в них органических веществ при исследованиях для строительства. ГОСТ 23740-79 подразумевает раз-

дельное определение количества растительных остатков и рассеянного органического вещества (гумуса).

Для установления количества гумуса определяют содержание органического углерода двумя методами.

1. «*Оксидометрический метод* следует применять для определения органического углерода в песчаных и глинистых грунтах, содержащих менее 10% гумуса, а в грунтах, содержащих хлориды, — после их удаления» (п. 1.4 [11]). Этот метод заключается в окислении органических веществ в грунте двуххромовокислым калием в сильноокислой среде до образования углекислоты. После этого избыток двуххромовокислого калия оттитровывают раствором соли Мора. Содержание органического углерода в грунте определяют по разности объемов соли Мора, израсходованных на титрование двуххромовокислого калия в опытах без грунта и с грунтом. Как видим, этот метод полностью идентичен способу определения содержания органических веществ в почвах.

2. «*Метод сухого сжигания в кислороде* следует применять для грунтов морского, лиманного, старичного, озерного, болотного происхождения и в грунтах, содержащих более 10% гумуса, после удаления карбонатов» (п. 1.5 [11]). Этот метод подразумевает окисление углерода бескарбонатной навески грунта ее сжиганием в потоке кислорода при температуре 950-1000 °С до прекращения выделения углекислого газа, учитываемого газообъемным методом, с последующим пересчетом «на углерод». Данный метод неприемлем для большинства минеральных и органо-минеральных грунтов аквального происхождения, т.к. при указанных температурах не только сгорают галоиды, но и удаляется вода из кристаллической решетки глинистых минералов при их распаде (именно глинистыми минералами в основном представлена твердая фаза донных грунтов).

Из нестандартизированных методов в геологии и литологии достаточно широко применяют определение содержания  $C_{орг}$  и  $C_{карб}$  мокрым сжиганием по Кнопю. Использование этого метода состоит из двух операций. Сначала растертую в пудру пробу кипятят в 10%-ной серной кислоте. При этом разлагаются с выделением углекислого газа присутствующие в пробе карбонаты. По количеству  $CO_2$ , определяемому по привесу поглотительных трубок с аскаритом, определяют  $C_{карб}$ . После удаления карбонатов пробу обрабатывают раствором хромового ангидрида ( $CrO_3$ ) в серной кислоте. При этом окисляются с выделением углекислого газа органические вещества и определяется содержание  $C_{орг}$ . При анализе проб с малометаморфизованными органическими веществами методом Кнопя на первом этапе (при кипячении в 10%-ной  $H_2SO_4$ ) помимо карбонатов разлагается часть органических веществ, поэтому оказывается завышенным количество  $C_{карб}$  и заниженным —  $C_{орг}$ .

### **Зарубежные методики определения содержания органических веществ в почвах и грунтах**

В системе европейских стандартов содержание органических веществ в грунтах определяется двумя основными методами — прокалывания до постоянной массы и колориметрическим (это закреплено, в част-

ности, в британском, французском и шведском регламентах [21, 26, 28-30]).

В работе [22] рассматриваются различные методы определения содержания органических веществ в грунтах, применяемые в западноевропейских и американских лабораториях. Все они разделены авторами работы [22] на *непрямые* (сухое сжигание, мокрое сжигание, дихроматное окисление) и *прямые* (обработка почвы 40-50%-ной перекисью водорода; определение потерь при прокаливании, однако при температуре 440 °С происходит разрушение ряда минералов, например гипса, в структуру которых входит вода, что ведет к завышению показаний, — тогда переоценка содержания органических веществ является существенной для почв с их количеством ниже 15%).

*Сухое сжигание* осуществляется при температуре выше 1000 °С в токе кислорода.  $C_{орг}$  почвы превращается при этом в диоксид углерода, который улавливают и определяют титриметрическим, гравиметрическим и манометрическим способами. Наиболее быстрое и качественное определение обеспечивает автоматизированный CHN-анализатор производства компании LECO, в котором сжигание происходит при 950 °С в токе кислорода сверхвысокой чистоты. Для автоматизированного определения содержания неорганического углерода карбонатов может применяться анализатор компании WOSTHOFF [23]. К недостаткам метода можно отнести дороговизну оборудования.

При *мокром сжигании* при температуре 210 °С требуется специальное устройство. Сама процедура выполняется с использованием серной, фосфорной кислот и дихромата калия. На выходе определяется диоксид углерода титрованием или гравиметрическим способом. Для устранения мешающего влияния хлоридов используются ловушки с иодидом калия и сульфатом серебра. Эта методика отличается высокой достоверностью и точностью, но она трудоемка и требует соответствующего лабораторного оборудования.

*Дихроматное окисление* проводится при нагреве до 140-150 °С в течение 30 мин. Трехвалентный хром в растворе определяется путем титрования или колориметрически. Известно, что присутствие в пробе хлоридов или ионов железа может привести к завышению результатов, а наличие оксидов марганца с высокой степенью окисления — к их занижению. В целом, дихроматное окисление является наиболее широко распространенным методом определения содержания органических веществ в почвах [23].

Опыт применения *термографического анализа* показал, что эндотермический пик, соответствующий разложению и сжиганию органических веществ почвы, приходится на диапазон между 229 и 579 °С с максимумом в районе 300-400 °С [25]. Другие авторы [27] приводят близкие к этим температуры окисления органических веществ (420-500 °С).

Для определения содержания органических веществ в органических грунтах как в отечественных [9, 10], так и в зарубежных [20] стандартах практически одинаково рекомендуется метод прокаливании до постоянной массы.

Наиболее простой способ определения содержания органических веществ закреплен в системе стандартов Американского общества по тестированию и материа-

лам (ASTM — American Society for Testing and Materials). В стандарте ASTM D2974-07a [19] описаны следующие методы:

- *методы A, B* включают процедуру сушки образцов до абсолютно сухого состояния при температуре 105 °С с предварительным испарением влаги при комнатной температуре или без него;
- *методы C, D* предусматривают сушку образца при 440 и 750 °С соответственно. В обоих случаях (C и D) прокалывание навески ведется до постоянной массы образца.

Представляется, что наиболее приемлемым как с научной, так и с технологической точек зрения методом определения содержания  $C_{орг}$  в грунтах при инженерных изысканиях для строительства является прокалывание навески грунта до постоянной массы в муфельной печи<sup>2</sup>.

В настоящее время при определении содержания  $C_{орг}$  при лабораторных испытаниях грунтов для инженерных изысканий в строительстве применяют ГОСТ 23740-79 [11], не актуализированный 35 лет<sup>3</sup>.

Метод сухого сжигания в токе кислорода требует обособленного помещения, постоянных расходных материалов, отдельных квалифицированных специалистов. Поэтому грунтовые лаборатории пошли по пути «творческого» применения данного стандарта — определения  $C_{орг}$  методом прокалывания навески грунта до постоянной массы. К сожалению, в силу разного толкования этого документа температуру (как и время) варьируют в самых широких пределах — от 300 до 1000 °С. Очень часто температура озоления определялась по ГОСТ 11306-83 (800 °С). Правда, в актуализированной редакции данного стандарта 11306-13 [10] температура озоления для грунтов была откорректирована, составив 525±25 °С. Но этот стандарт распространяется только на торф и является чисто техническим (технологическим). История его создания восходит к 20-30-м годам XX века, когда необходимо было знать потребительские свойства торфяных брикетов при их сжигании в качестве топлива для выработки тепла и электроэнергии<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Необходимо четко разграничить два совершенно разных подхода при определении данного показателя состава грунта — массовое («поточное») определение содержания  $C_{орг}$  в грунтовых испытательных лабораториях при инженерных изысканиях для строительства и единичные («мелкосерийные») определения при проведении научных исследований. В первом случае это классификационный показатель для определения номенклатуры грунта, во втором — детальные исследования самой биотической фазы, изначально присутствующей в грунте.

<sup>3</sup> Инспекционные и аттестационные проверки грунтовых испытательных лабораторий показывают, что в подавляющем большинстве случаев правоприменение действующего ГОСТ 23740-79 [12] повсеместно нарушается как по части определения содержания растительных остатков, так и в отношении оксиметрического метода и метода сухого сжигания.

<sup>4</sup> В результате в сводных ведомостях лабораторных определений состава и физико-механических свойств грунтов фигурирует совершенно фантастический показатель ППП (потери при прокаливании), который отсутствует в понятийно-терминологической базе грунтоведения, не говоря уже о ГОСТ 25100-2011 [9].



Вторым важным моментом является то, что при температуре озоления 800 °С происходит сгорание не только органических веществ, но и карбонатов, галоидов, а также твердосвязанной воды и отдельных минералов твердой фазы грунта. Таким образом, при такой температуре озоления содержание органических веществ существенно завьшается (для органо-минеральных грунтов — в разы), что приводит к неправильной классификации грунтов. Более того, завьшение количества  $C_{\text{орг}}$  при неопределении  $\text{CaCO}_3$  (общефедерального стандарта на определение которого в существующей системе ГОСТ просто нет) приводит к невозможности дальнейшего прогнозирования поведения грунта под основаниями зданий и сооружений: ожидается ли длительная консолидация грунта и/или развитие суффозионных процессов?

Хочется обратить внимание на то, что на современном этапе развития инженерных изысканий для строительства знание содержания  $C_{\text{орг}}$  требуется исключительно для классификации грунтов (подразделения их на минеральные, органо-минеральные и органические). В расчетные параметры данный показатель не входит, и, наверное, в этом кроется некоторое невнимание к данной важнейшей характеристике состава грунта<sup>5</sup>.

Исходя из природы органических веществ (растительного и животного происхождения) в разных типах грунтов, их физического состояния и геологического возраста можно предположить, что в целом дисперсные грунты следует разделить на три большие группы:

- голоценовые аквальные органо-минеральные (илы, сапропели) и дисперсные связные минеральные (глинистые);
- дисперсные связные и несвязные минеральные, по возрасту не относящиеся к голоценовым, а также техногенные;
- органо-минеральные (зоторфованные) и органические (торфа, сапропели).

Определяющим критерием выделения этих групп явилось ранжирование разновидностей грунтов, принятое в частных инженерно-геологических класси-

фикациях. Группы 1 и 2 выделены с учетом таблицы Б.22, а группа 3 — согласно таблице Б.23 основного «грунтового» нормативного документа — ГОСТ 25100-2011 [12].

### **Методика выбора оптимальной температуры прокаливания для определения содержания органических веществ в грунтах**

Для подтверждения правильности выбора метода (прокаливания навески грунта) сформировали коллекцию образцов грунтов из трех вышеназванных групп. Были отобраны и исследованы на содержание органических веществ путем параллельных определений разными методами минеральные, органо-минеральные и органические грунты из различных регионов Российской Федерации — Северо-Западного, Центрального, Южного и Сибирского федеральных округов. Особое внимание уделялось исследованию аквальных органо-минеральных грунтов (прибрежно-морских, шельфовых илов и текучих глин Баренцева, Балтийского, Белого, Черного, Азовского, Карского морей и моря Лаптевых) как наиболее сложных по условиям формирования, составу и структуре органических веществ.

Проведенные лабораторные исследования заключались в сравнительном определении содержания органических веществ методом бихроматного окисления (методом Тюрина) и методом пошагового озоления (прокаливания) с целью выбора соответствующей оптимальной температуры прокаливания исходя как из природы этих веществ в грунтах, так и из генезиса самих грунтов.

При этом *первым (жестким) условием* при выборе верхнего температурного предела для первой и второй групп грунтов, выше которого недопустимо прокалывать навеску, являлась температура 500 °С, т.к. при более высоких ее величинах начинается удаление из состава глинистых минералов воды (их деструкция), происходит разложение хлоридов, нитратов и сульфатов.

*Вторым важным моментом* при выборе верхней границы температуры была определенная установка как на преемственность с предыдущими нормативными документами (ГОСТ 11306-2013 [10]), так и на гармонизацию разрабатываемой методики с передовыми зарубежными лабораторными практиками, в частности с ASTM D2974-07a [19]. Данный стандарт наиболее полно рассматривает вопросы методики определения органического вещества в органических (торфах, сапропелях) и органо-минеральных (зоторфованных) грунтах и получил достаточно широкое распространение в повседневной производственной практике зарубежных грунтовых испытательных лабораторий. В этом документе регламентируется проводить ступенчатое озоление навески грунта для определения в нем содержания органических веществ при температурах 105, 440 и 750±25 °С. Таким образом, фиксация температуры 750±25 °С для грунтов третьей группы в готовящемся актуализированном стандарте обеспечивает решение поставленной задачи, тем более что эта ее величина не является принципиальной для классификации грунтов с большим содержанием органических веществ.

<sup>5</sup> Необходимо отметить ряд принципиальных моментов, которыми нужно руководствоваться при разработке любого нормативного документа. ГОСТ «Грунты» (93.020. Земляные работы. Выемка грунта. Сооружение фундаментов. Подземные работы, включая геотехнику) — это всеобъемлющий консенсус между специалистами: с одной стороны — непротиворечие научной истине (бесконечное многообразие природы грунта), с другой — учет целесообразности затрат (технических, человеческих и финансовых) при исследованиях. Это своего рода баланс «значимость показателя для безопасности здания и сооружения — необходимая точность определения — применяемые технические средства». В качестве положительного и наиболее яркого примера такого подхода при выработке окончательного решения можно привести историю принятия первого ГОСТ «Грунты. Методы определения физических характеристик». В процессе его обсуждения было предложено шесть вариантов определения естественной влажности и четыре варианта определения пределов пластичности (дискуссия тогда развернулась по поводу определения пороговой температуры высушивания и времени самого процесса).

Таблица 2

Относительное содержание органических веществ, %, в пробах голоценовых бухтовых отложений Кандалакшского залива (Белое море)										
Глубина отбора, м	Метод Тюрина	ППП* при температуре, °С			Разность парных значений			Ранг разности парных значений		
		250	350	800	250	350	800	250	350	800
0,0	7,32	6,27	7,87	11,06	1,05	-0,55	-3,74	6	-7	-11
0,1	5,94	5,73	6,47	8,89	0,21	-0,53	-2,95	1,5	-6	-10
0,2	5,73	5,94	5,63	6,85	-0,21	0,10	-1,12	-1,5	2	-3
0,3	4,98	3,58	5,28	6,94	1,40	-0,30	-1,96	7	-5	-6
0,4	5,12	4,81	5,76	7,81	0,31	-0,64	-2,69	3	-9	-8
0,5	5,68	3,97	5,57	6,08	1,71	0,11	-0,40	10	3	-1
0,6	4,72	2,59	4,89	6,32	2,13	-0,17	-1,60	11	-4	-4
0,7	5,64	3,95	4,25	6,44	1,69	1,39	-0,80	9	11	-2
0,8	3,58	2,11	4,44	5,53	1,47	-0,86	-1,95	8	-10	-5
0,9	2,98	2,24	3,57	5,61	0,74	-0,59	-2,63	4	-8	-7
1,0	2,88	1,98	2,98	5,68	0,90	-0,10	-2,80	5	-1	-9
Кол-во значений		11			Критерий Уилкоксона			10		
Сред. арифметич. значение	4,96	3,92	5,16	7,02	$R_p^{**}$			64,5	16	0
Сред. квадратич. отклонение	1,35	1,59	1,36	1,68	$R_n^{***}$			1,5	50	66
Сред. квадратич. ошибка	0,41	0,48	0,41	0,51	$R_{min}^{****}$			1,5	16	0

\* ППП — потери при прокаливании.  
 \*\*  $R_p$  — сумма положительных рангов.  
 \*\*\*  $R_n$  — сумма отрицательных рангов.  
 \*\*\*\*  $R_{min}$  — меньшая из сумм рангов по абсолютному значению.

### Результаты параллельного определения содержания органических веществ разными методами

На основе результатов научно-методических и экспериментальных работ, представленных в многочисленных публикациях (статьях, методических пособиях, монографиях) и нашедших свое отражение в нормативных документах обязательного применения (как отечественных, так и зарубежных), и на базе данных, полученных в научных и научно-производственных почвенных (лаборатории географии почв Биоло-

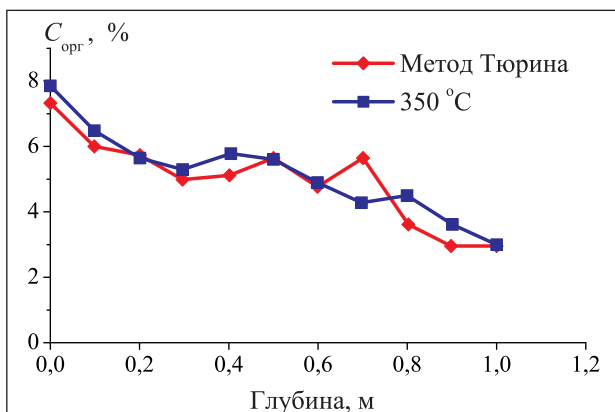


Рис. 1. Содержание  $C_{орг}$  в донных грунтах Белого моря, полученное разными методами (методом Тюрина и по потерям при прокаливании при 350 °C)

гического НИИ СПбГУ) и грунтовых (ОАО «Трест ГРИИ», ОАО «ЛенморНИИпроект») испытательных лабораториях, был произведен выбор температурных параметров озоления навесок различных грунтов для определения в них содержания органических веществ по следующей методике:

- из образцов грунта отбирались навески (3-5 г) для определения содержания в них органических веществ методом бихроматного окисления (методом Тюрина) для двух параллельных проб;
- определялась гигроскопическая влажность грунта;
- определялось содержание хлоридов и сульфатов;
- навески грунта помещались в муфельную печь и пошагово озолнялись при температурах 250, 300, 350, 450 и 800 °C с взвешиванием на аналитических весах после каждого температурного цикла;
- значения характеристик вычислялись как среднее арифметическое из результатов параллельных определений; затем они сводились в таблицы и методом сравнения выбиралась оптимальная температура озоления (прокаливании), максимально соответствующая приближенному содержанию  $C_{орг}$ , полученному методом Тюрина.

Проведение опытно-методических работ по установлению физических характеристик (естественной и гигроскопической влажности —  $W_e$  и  $W_g$ ) осуществлялось в соответствии с ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик». Все исследования проводились с использованием оборудования и средств измерения, прошедших



Таблица 3

Относительное содержание органических веществ, %, в пробах голоценовых отложений (иллов, суглинков, глин) Штокмановского месторождения (Баренцево море)*													
Глубина отбора, м	Метод Тюрина	ППП при температуре, °С				Разность парных значений				Ранг разности парных значений			
		250	350	450	800	250	350	450	800	250	350	450	800
1,5	6,71	6,01	7,15	7,69	9,02	0,70	-0,44	-0,98	-2,31	4	-7	-5	-5
3,5	4,66	3,59	4,21	5,63	7,15	1,07	0,45	-0,97	-2,49	5	7	-4	-6
5,0	5,91	3,96	5,99	6,38	7,22	1,95	-0,08	-0,47	-1,31	7	-2	-3	-1
6,0	2,49	2,38	2,43	3,56	4,23	0,11	0,06	-1,07	-1,74	1	1	-5	-3
7,0	2,41	0,69	2,73	2,79	4,11	1,72	-0,32	-0,38	-1,70	6	-6	-2	-2
8,0	0,83	0,69	0,97	1,02	3,01	0,14	-0,14	-0,19	-2,18	2	-3	-1	-4
9,0	1,17	0,28	1,41	2,89	3,77	0,89	-0,24	-1,72	-2,60	4	-5	-6	-7
10,0	0,74	0,27	0,89	2,66	3,13	0,47	-0,15	-1,92	-2,39	3	-4	-7	-5
Кол-во значений		8				Критерий Уилкоксона				3			
Сред. арифметич. значение	3,11	2,23	3,22	4,08	5,20	$R_p$				32	8	0	0
Сред. квадратич. отклонение	2,35	2,12	2,35	2,25	2,260	$R_n$				0	27	33	33
Сред. квадратич. ошибка	0,83	0,75	0,83	0,80	0,80	$R_{min}$				0	8	0	0

\* Буквенные обозначения — см. примечания к табл. 2.

метрологическую аттестацию и поверку в соответствии с действующим законодательством РФ.

После получения результатов определения содержания органических веществ разными методами выполнялась их статистическая обработка по стандартной методике<sup>6</sup>. Кроме этого для сравнения независимых выборок использовался ранговый знаковый критерий Уилкоксона<sup>7</sup>.

Некоторые результаты представлены в табл. 2-6 и на рис. 1-3.

### Выводы

На основании результатов многочисленных экспериментальных исследований, определения термохимических свойств, теории строения, образования и трансформации органических веществ в грунтах (в том числе в почвах) были установлены следующие температуры для определения их относительного содержания методом прокаливании до постоянной массы в муфельной печи:

- 350±10 °С (схема А) — для голоценовых аквальных грунтов (органо-минеральных и дисперсных связанных минеральных);
- 450±10 °С (схема Б) — для дисперсных связанных и несвязанных минеральных грунтов, по возрасту не от-

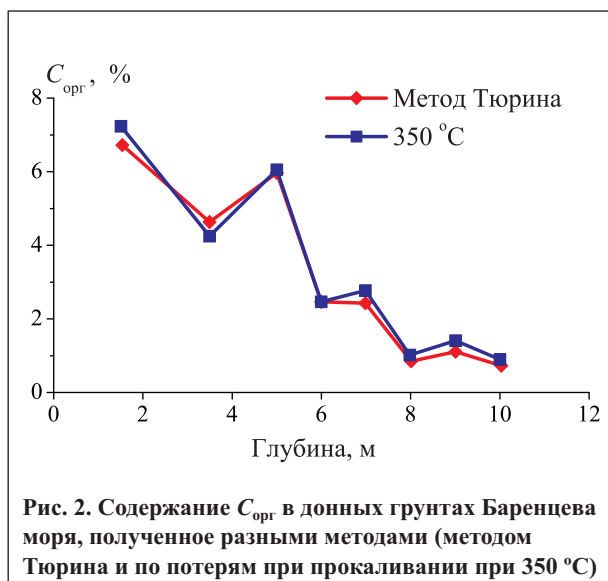


Рис. 2. Содержание  $C_{орг}$  в донных грунтах Баренцева моря, полученное разными методами (методом Тюрина и по потерям при прокаливании при 350 °С)

- 750±25 °С (схема В) — для органических (торфов, сапропелей) и органо-минеральных (зоторфованных) грунтов.

<sup>6</sup> Результаты определения относительного содержания органических веществ, полученные разными методами, анализировались с точки зрения сходимости. Для этого по каждой выборке рассчитывались статистические показатели (среднее арифметическое значение, среднее квадратическое отклонение, средняя квадратическая ошибка). Наиболее близкие значения статистических показателей в сравнении с результатами, полученными по методу Тюрина, для грунтов 1-й группы дал метод прокаливании до постоянной массы при 350 °С, для грунтов 2-й группы — при 450 °С, 3-й группы — при 800 °С.

<sup>7</sup> Критерий Уилкоксона предназначен для сопоставления показателей, измеренных в двух разных условиях для одной и той же выборки. Суть метода состоит в том, что сопоставляются абсолютные величины выраженности сдвигов в том или ином направлении. Для этого сначала все абсолютные величины сдвигов ранжируются, а потом ранги суммируются. В качестве статистики используется меньшая из сумм рангов. Нуль-гипотеза (обе выборки принадлежат к одной генеральной совокупности) отбрасывается, если вычисленное R-значение равно критическому значению критерия Уилкоксона (табличному) или меньше его (Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. С. 288–290).



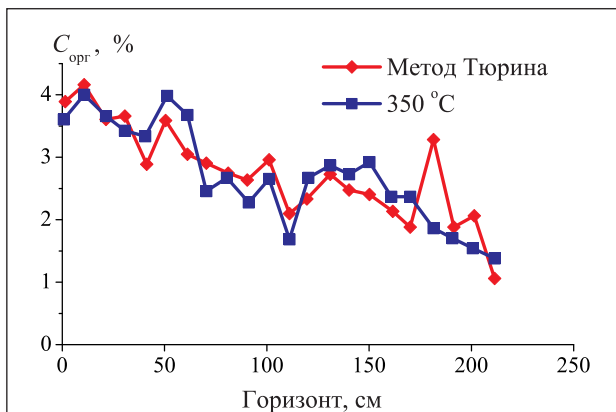


Рис. 3. Содержание  $C_{орг}$  в донных грунтах Южно-Китайского моря, полученное разными методами (методом Тюринна и по потерям при прокаливании при 350 °C)

Для всех этих трех групп было установлено время прокаливании 3 ч.

Полученные температуры прокаливании были апробированы и внедрены в практику лабораторных испытаний грунтов в ряде изыскательских организаций Санкт-Петербурга (ОАО «Трест ГРИИ», ОАО «ЛенморНИИпроект», ОАО «ЛенТИСИЗ»).

Именно указанные температуры предлагается зафиксировать в актуализированной редакции ГОСТ 23740-79 «Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ» [11].

В актуализированном стандарте предлагается оставить без изменений раздел, посвященный определению растительных остатков, а также вместо двух методов — оксидометрического и сухого сжигания — ввести метод прокаливании до постоянной массы по указанным выше схемам А, Б и В.

Таблица 4

Относительное содержание органических веществ, %, в пробах голоценовых отложений (илов, глин) месторождения «Белый тигр» (Южно-Китайское море)*										
Горизонт, см	Метод Тюринна	ППП при температуре, °C			Разность парных значений			Ранг разности парных значений		
		350	450	800	350	450	800	350	450	800
0–1	3,89	3,63	6,69	7,56	0,26	-2,80	-3,67	8	-5	-4
10–11	4,18	3,99	7,65	15,06	0,19	-3,47	-10,88	4	-11	-21
20–21	3,58	3,66	6,63	10,32	-0,08	-3,05	-6,74	-1	-7	-15
30–31	3,67	3,42	6,28	102,6	0,25	-2,61	-98,93	6,5	-3	-22
40–41	2,89	3,33	7,46	11,49	-0,44	-4,57	-8,60	-17	-20	-20
50–51	3,61	3,98	7,13	11,39	-0,37	-3,52	-7,78	-14	-13	-19
60–61	3,05	3,68	7,58	10,27	-0,63	-4,53	-7,22	-21	-19	-17
70–71	2,89	2,46	6,39	10,29	0,43	-3,50	-7,40	16	-12	-18
80–81	2,74	2,65	6,47	9,83	0,09	-3,73	-7,09	2	-14	-16
90–91	2,65	2,29	7,39	8,47	0,36	-4,74	-5,82	12,5	-22	-12
100–101	2,98	2,66	6,27	8,32	0,32	-3,29	-5,34	11	-10	-10
110–111	2,09	1,68	6,24	8,49	0,41	-4,15	-6,40	15	-17	-14
120–121	2,33	2,69	5,46	8,18	-0,36	-3,13	-5,85	-12,5	-8	-13
130–131	2,71	2,88	6,87	7,66	-0,17	-4,16	-4,95	-3	-18	-8
140–141	2,46	2,73	6,32	7,57	-0,27	-3,86	-5,11	-9	-15	-9
150–151	2,39	2,93	6,49	7,98	-0,54	-4,10	-5,59	-20	-16	-11
160–161	2,11	2,36	6,77	6,07	-0,25	-4,66	-3,96	-6,5	-21	-5
170–171	1,87	2,36	5,12	6,09	-0,49	-3,25	-4,22	-18	-9	-7
180–181	3,26	1,88	5,55	5,46	1,38	-2,29	-2,20	22	-2	-1
190–191	1,89	1,69	4,79	5,98	0,20	-2,90	-4,09	5	-6	-6
200–201	2,06	1,54	4,25	5,27	0,52	-2,19	-3,21	19	-1	-2
210–211	1,06	1,36	3,79	4,36	-0,30	-2,73	-3,30	-10	-4	-3
Кол-во значений		22			Критерий Уилкоксона			65		
Сред. арифметич. значение	2,74	2,72	6,25	12,67	$R_p$			121	0	0
Сред. квадратич. отклонение	0,76	0,80	1,05	20,24	$R_n$			132	253	253
Сред. квадратич. ошибка	0,16	0,17	0,22	4,32	$R_{min}$			121	0	0

\* Буквенные обозначения — см. примечания к табл. 2.



Таблица 5

Относительное содержание органических веществ, %, в пробах голоценовых морских отложений (илы глинистые)										
Место отбора пробы	Метод Тюрина	ППП при температуре, °С			Разность парных значений			Ранг разности парных значений		
		250	350	450	250	350	450	250	350	450
Азовское море	3,95	3,61	4,45	5,24	0,34	-0,5	-1,29	2	-7	-5
Белое море	3,07	2,51	3,31	4,43	0,56	-0,24	-1,36	6	-5	-6
Море Лаптевых	1,53	1,03	1,70	2,01	0,5	0,03	-0,48	5	1	-1
Охотское море	2,96	2,91	3,17	4,32	0,05	-0,21	-1,36	1	-4	-7
Южно-Китайское море	4,98	4,52	5,13	6,03	0,46	-0,15	-1,05	4	-3	-4
Баренцево море	3,12	2,23	3,01	4,08	0,88	0,11	-0,96	7	2	-2
Черное море	1,33	0,98	1,61	2,35	0,35	-0,28	-1,02	3	-6	-3
Кол-во значений		7			Критерий Уилкоксона			2		
					$R_p$			28	3	0
					$R_n$			0	25	28
					$R_{min}$			0	3	0

\* Буквенные обозначения — см. примечания к табл. 2.

Таблица 6

Относительное содержание органических веществ, %, в пробах дисперсных минеральных грунтов										
Грунт	Метод Тюрина	ППП при температуре, °С			Разность парных значений			Ранг разности парных значений		
		350	450	800	350	450	800	350	450	800
Глина J (г. Москва, ЗИЛ)	5,11	2,84	5,33	15,21	2,27	-0,22	-10,1	2	-7	-5
Супесь V (г. Санкт-Петербург)	0,26	0,34	1,13	1,78	0,13	-0,11	-1,37	6	-5	-6
Глина Q <sub>III</sub> (г. Лодейное Поле)	0,52	0,47	1,53	3,16	0,12	0,05	-3,63	5	1	-1
Суглинок Q <sub>III</sub> (г. Старая Русса)	0,21	0,19	0,25	0,83	0,1	0,02	-0,68	1	-4	-7
Суглинок Q (г. Арзамас)	1,23	1,24	1,53	2,01	-0,01	-0,18	-0,94	4	-3	-4
Суглинок (Хабаровский край)	2,83	2,11	3,03	3,56	0,72	-0,2	-0,73	7	2	-2
Супесь (Башкирия)	1,26	1,32	1,45	5,98	0,08	-0,11	-4,83	3	-6	-3
Кол-во значений		7			Критерий Уилкоксона			2		
					$R_p$			19	3	0
					$R_n$			1	16	20
					$R_{min}$			1	3	0

\* Буквенные обозначения — см. примечания к табл. 2.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. С. 121–136.
3. Бетелев Н.П. Методы определения загрязнения грунтов углеводородами // Геоэкология. 1998. № 1. С. 120–124.
4. Бетелев Н.П. Новый метод определения содержания органического вещества в грунтах и горных породах // Инженерная геология. 1979. № 2. С. 105–110.
5. Бетелев Н.П. Определение содержания органического углерода в илах и горных породах прокаливанием проб в токе кислорода без предварительного удаления карбонатов // Литология и полезные ископаемые. 1981. № 5. С. 152–159.
6. Бетелев Н.П. Определение содержания углерода и другие исследования с использованием сухого сжигания // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 2006. Т. 81. Вып. 2. С. 62–72.
7. Бетелев Н.П. Усовершенствование метода определения органического углерода сухим сжиганием // Геоэкология. 1994. № 3. С. 104–108.
8. Бетелев Н.П., Кулачкин Б.И. Методы определения содержания органических веществ в грунтах // Инженерная геология. 1990. № 4. С. 91–100.
9. ГОСТ 10650-72. Торф. Метод определения степени разложения. М.: ИПК Издательство стандартов, 1974.
10. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М., 2014.
11. ГОСТ 23740-79. Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ. М.: Госстрой СССР, 1979.
12. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013, 38 с.

13. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Госстандарт СССР, 1991.
14. ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфа и оторфованных горизонтов почв. М.: Госстандарт СССР, 1988.
15. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 314 с.
16. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 324 с.
17. Фокин А.Д. Органическая часть почвы // Почвоведение / под ред. И.С. Кауричева. М.: Агропромиздат, 1989. С. 109–136.
18. ASTM D2974:1987. Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. Philadelphia, USA: ASTM, 1987.
19. ASTM D2974-07a. Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. Philadelphia, USA: ASTM, 2007.
20. ASTM D5715-00. Standard Test Method for Estimating the Degree of Humification of Peat and Other Organic Soils (Visual/Manual Method). Philadelphia, USA: ASTM, 2006.
21. BS 1377-3:1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 3: Chemical and electrochemical tests. Clause 4. Determination of the mass loss on ignition or an equivalent method. London, UK: BSI, 1990.
22. Huang P., Patel M., Santagata M.C., Bobet A. Classification of organic soils. West Lafayette, Indiana: Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, 2009.
23. Kirkby C.A., Kirkegaard J.A., Richardson A.E., Wade L.J., Blanchard C., Batten G. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils // Geoderma. 2011. V. 163. P. 197–208.
24. Lorenz K., Preston C.M., Kandeler E. Soil organic matter in urban soils: Estimation of elemental carbon by thermal oxidation and characterization of organic matter by solid-state <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy // Geoderma. 2006. V. 130. P. 312–323.
25. Marcos E., Tarrega R., Luis E. Changes in a humic cambisol heated (100–500 °C) under laboratory conditions: the significance of heating time // Geoderma. 2007. V. 138. P. 237–243.
26. NF P94-055:1993. Sols: Reconnaissance et Essais — Determination de la teneur ponderale en matieres organiques d'un sol — Methode chimique. Paris: AFNOR, 1993 (Fr.).
27. Plante A.F., Fernandez J.M., Leifeld J. Application of thermal analysis techniques in soil science. Review // Geoderma. 2009. 153. P. 1–10.
28. SS 0271 05:1990. Geotechnical tests — Organic content — Ignition loss method. Svensk Standard, 1990.
29. SS 0271 07:1990. Geotechnical tests — Organic content — Colorimetric method. Svensk Standard, 1990.
30. XP P94-047:1998. Sols: Reconnaissance et Essais — Determination de la teneur ponderale en matiere organique — Methode par calcination. Paris: AFNOR, 1998 (Fr.).

**ЖУРНАЛ**

- о людях
- о землетрясениях
- о неустойчивых склонах и оползнях
- о вулканах
- о наводнениях и ураганах
- ...
- о прогнозировании и предупреждении ЧС
- о важности работы изыскателей

**ЖУРНАЛ**  
**GeoRisk**

ЖУРНАЛ

e-mail: [info@geomark.ru](mailto:info@geomark.ru)