

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №2, Том 13 / 2021, No 2, Vol 13 <https://esj.today/issue-2-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/47SAVN221.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Носков И.В., Ананьев С.А., Осипова М.А. Исследования компрессионных свойств торфа как материала для устройства оснований зданий и сооружений на заболоченных территориях // Вестник Евразийской науки, 2021 №2, <https://esj.today/PDF/47SAVN221.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Noskov I.V., Ananyev S.A., Osipova M.A. (2021). Research of compression properties of peat as material for arrangement of bases of buildings and structures in wetlands. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(13). Available at: <https://esj.today/PDF/47SAVN221.pdf> (in Russian)

УДК 624.131.276; 624.131.4

ГРНТИ 67.21.17

**Носков Игорь Владиславович**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: noskov.56@mail.ru

**Ананьев Сергей Анатольевич**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Старший преподаватель «Технология и механизация строительства»  
E-mail: ananda\_hasita@mail.ru

**Осипова Марина Александровна**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
Кандидат геолого-минералогических наук, доцент  
E-mail: kurator.stf@yandex.ru

## **Исследования компрессионных свойств торфа как материала для устройства оснований зданий и сооружений на заболоченных территориях**

**Аннотация.** В результате действия внешних сил твердые частицы торфа сближаются между собой, изменяется его объем и пористость, или, как говорят, торф дает осадку. В статье приведены сведения об этом изменении объема торфа под действием внешних сил характеризует его компрессионные свойства.

Авторами отмечено, что уменьшение объема и пористости торфа происходит также при удалении из него влаги высушиванием. Такое явление, как уже отмечалось выше, называется усадкой и обязано возникновению сил сжатия от действия внутренних сил.

В статье указано, что в общем случае при сжатии трехфазной системы уменьшение объема грунта происходит за счет удаления из пор воды и воздуха. Сжимаемостью твердых частиц и воды пренебрегают, ввиду незначительности величин (коэффициент сжатия воды в среднем равен 0,00005, а твердых частиц скелета грунта – 0,000025). Поэтому при рассмотрении сжатия грунта, полностью насыщенного водой, исходят из так называемого принципа несжимаемости грунтовой массы, согласно которому уплотнение происходит только за счет удаления избыточного количества воды и уменьшения пористости.

**Ключевые слова:** торф; основания сооружений; лабораторные испытания; фильтрация; коэффициент фильтрации; влажность грунтов; пористость грунтов; уплотнение оснований; плотность грунта; компрессионные испытания; компрессия

Многолетняя практика лабораторных испытаний в различных грунтовых лабораториях на территории РФ и других странах показала, что такой показатель как торфяная водопроницаемость значительно уменьшается при испытании исследуемого образца. На первоначальных этапах испытаний уменьшение скорости фильтрации влаги в торфе имеет максимальное значение, а затем стремительно падает. Развитие снижения скорости фильтрации влаги имеет скачкообразный характер. В дальнейшем может проявляться даже так называемое «фильтрационное равновесие».

В ходе опытов, при прекращении подачи влаги и после ее спуска, обнаруживалось, что фильтрационная способность торфяных образцов, стремительно возрастает. Этот рост прямо пропорционально растет, в зависимости от того как долго был перерыв в подаче влаги [1; 2].

Четкой зависимости данного явления на настоящий момент выявить пока не удалось, описание уменьшения фильтрационного коэффициента и его относительной величины сильно варьировалось у разных исследователей. В отдельных случаях наблюдался спад скорости фильтрования влаги в средне и хорошо разложившихся торфах на протяжении 7–9 дней, на 10 день происходила ее стагнация. Малоразложившийся торф при лабораторных исследованиях показал, обратную картину, скорость фильтрования наоборот увеличивалась.

При наблюдении за образцами торфа на протяжении 3-х месяцев, было выявлено снижение водопроницаемости торфа (первоначальное значение коэффициента фильтрации было в 2 раза выше).

Лабораторные испытания, проводимые в Новосибирской области (автомобильная дорога «Подъезд к с. Убинскому»), показали, что выравнивание скорости развития водопроницаемости среднеразложившихся торфов происходило на 10–15 день, при этом первоначальный коэффициент фильтрации снизился почти в 2 раза, если же испытания проводились повторно, то падение было 4-х–8-ми кратным.

Таким образом, большинством исследователей фильтрации воды через образцы торфа были сделаны следующие выводы:

- а) водопроницаемость монолита торфа при лабораторных исследованиях с течением времени неизбежно уменьшается (см. рисунок 1);
- б) в первое время это замедление фильтрации происходит более быстро, а затем с течением времени уменьшение  $K_f$  происходит медленнее, причем относительное уменьшение его, возрастает с увеличением степени разложения торфа;
- в) после перерыва подачи воды, когда происходит частичное уменьшение водонасыщенности торфа, немедленно происходит увеличение скорости фильтрации и тем больше, чем большим был перерыв в подаче воды.

Причины, (вызывающие уменьшение водопроницаемости торфа во времени, до настоящего времени полностью еще не выяснены, и различные исследователи по-разному объясняют это явление.

Одной из распространенных замедления скорости фильтрации воды в торфе является постепенное набухание отдельных его частиц. Это приводит к снижению активной пористости образца торфа, а следовательно, к уменьшению водопроницаемости [1].

Существует и другое предположение, согласно которому это явление связано со значительной изменчивостью структуры торфа под воздействием гидродинамических сил потока. Это изменение выражается в переносе мелких частиц торфа в направлении движения фильтрационного потока и коагуляции поровых пространств, что может происходить при достаточно большом значении начального градиента и постепенном его уменьшении в процессе движения. Это, естественно, приводит вначале к отрыву частиц скелета, а затем к их отложению в относительно крупных порах, где градиенты становятся малыми и поток теряет транспортирующую способность [3; 4].

Принцип несжимаемости грунтовой массы применим также и для торфяных грунтов. По данным исследований, коэффициент объемного сжатия сухого вещества торфа значительно меньше, чем воды, и примерно такой же, как и других материалов (таблице 1).

Таблица 1

**Коэффициенты объемного сжатия различных материалов**

Материал	Коэффициент объемного сжатия $\beta \cdot 10^{-7}$
Вода	458
Торф пушицевый	10
Торф древесно-осоковый	48
Песок	40

*Разработано автором*

В практике обычно деформации торфа при сжатии происходят в условиях ограниченной возможности бокового расширения. Однако ввиду их неопределенности деформации грунта изучают при двух возможных случаях, т. е. рассматривают два вида сжатия: (а) сжатие при свободном боковом расширении грунта и (б) сжатие в условиях полного отсутствия бокового расширения [5].

В первом случае частицы грунта имеют возможность перемещаться в стороны, что при значительных нагрузках приводит к боковому сдвигу-выжиманию грунта из-под нагрузки и образованию вала выпирания вокруг площадки, передающей нагрузку. Этот случай представляет сложную деформацию сжатия и сдвига. Как будет подробнее рассмотрено ниже, для торфяных грунтов явление бокового сдвига не наблюдается, а при значительных нагрузках происходит срез торфа по периметру опорной поверхности [6; 7].

При сжатии торфа без возможности его бокового расширения возникает так называемое боковое давление, перпендикулярное сжимающей нагрузке. Величина бокового давления в этом случае характеризуется коэффициентом бокового давления, которым называется отношение бокового давления к сжимающей нагрузке:

$$\zeta = \frac{q}{p} \quad (1)$$

Коэффициент бокового давления торфа зависит от величины сжимающей нагрузки, влажности торфа, степени его переработки и т. д. Исследования показали, что в образцах торфа с начальной влажностью от 50 % и выше коэффициент бокового давления с ростом удельной нагрузки уменьшается; в образцах торфа с начальной влажностью ниже 50 % – увеличивается, принимая некоторую постоянную (величину, характерную для данного, торфа. Переработка торфа способствует увеличению коэффициента бокового давления [8; 9].

В таблице 2 приводятся некоторые значения коэффициента бокового давления низинного торфа (степень разложения 60 %, начальная влажность 82,5 % к весу сырой навески) в зависимости от его переработки и вертикальной нагрузки.

**Таблица 2**

**Значения коэффициента бокового давления низинного торфа**

Вертикальное давление в кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент бокового давления						
	ненарушенная структура	нарушенная структура	количество переработок				
			1	2	3	4	5
1	0.50	0.66	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90
3	0.45	0.53	0.60	0.60	0.63	0.57	0.58
5	0.43	0.48	0.44	0.55	0.60	0.55	0.56
10	0.40	0.43	0.40	0.50	0.55	0.55	0.54
15	0.40	0.40	0.40	0.44	0.50	0.54	0.53

*Разработано автором*

Относительно постоянной характеристикой торфа, не зависящей от влажности, предварительного уплотнения и давления, является коэффициент бокового давления покоя, который определяется как отношение приращения бокового давления к приращению сжимающей нагрузки:

$$\xi_0 = \frac{dq}{dp} \quad (2)$$

Между коэффициентом бокового давления покоя ( $\xi_0$ ) и коэффициентом Пуассона ( $\mu$ ) установлена следующая зависимость:

$$\xi_0 = \frac{\mu}{1-\mu} \text{ или } \mu = \frac{\xi_0}{1+\xi_0} \quad (3)$$

Некоторые значения коэффициента бокового давления покоя ( $\xi_0$ ) и коэффициента поперечного расширения ( $\mu$ ) торфов приведены в таблице 3.

Сжимаемость торфа, как и минеральных грунтов, характеризуется компрессионными кривыми, т. е. кривыми связи коэффициента пористости торфа с приложенной нагрузкой в условиях невозможности бокового расширения [10].

**Таблица 3**

**Значения коэффициента бокового давления покоя и коэффициента поперечного расширения различных торфов**

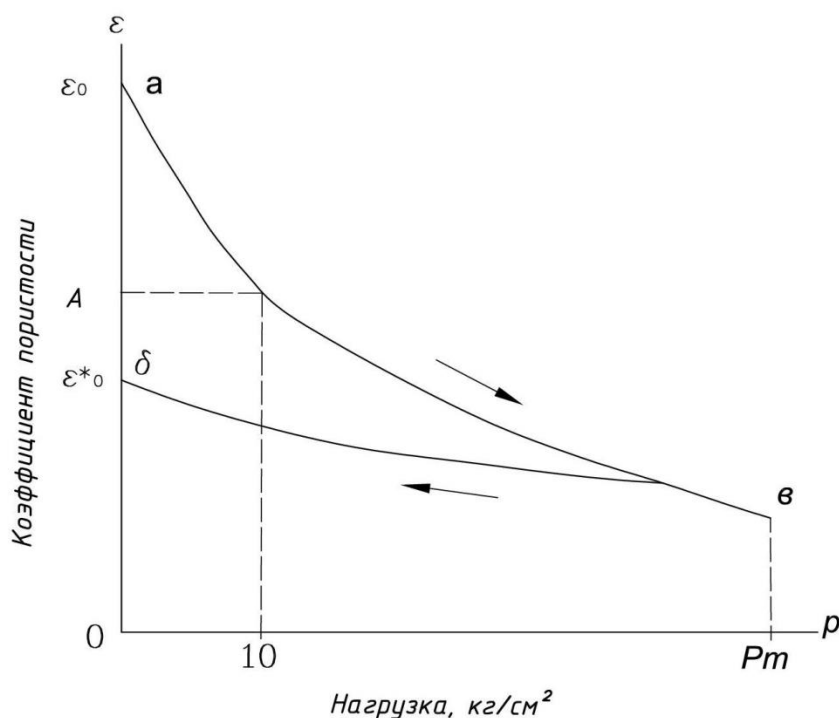
Вид торфа	Степень разложения в %	$\xi_0$	$\mu$
Древесно-осоковый	35	0.47	0.32
Медиум-торф	10–15	0.57	0.36
Сфагновый низинный	25	0.37	0.27
Пушицево-сфагновый	25	0.51	0.34

*Разработано автором*

Компрессионные кривые (рисунок 1) имеют две ветви: ветвь (а) сжатия (нагрузки) и ветвь (б) расширения (разгрузки). Увеличение коэффициента пористости торфа при разгрузке обязано упругим свойствам торфяного скелета, а также всасыванию образцом воды.

В связи с этим каждому значению давления на торф соответствуют два значения коэффициента пористости, а для грунтовой массы – два значения влажности (при нагрузке и при разгрузке). Несовпадение кривой расширения с кривой уплотнения свидетельствует о наличии остаточных деформаций в скелете торфа [11; 12].

Исследования геотехнической лаборатории ОАО «ГипроДорНИИ» показали, что уравнение компрессионной кривой для минеральных грунтов в большинстве случаев является пригодным и для торфов.



**Рисунок 1.** Компрессионная кривая (разработано автором)

Уравнение компрессионной кривой для торфа имеет следующий вид:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \alpha \ln \frac{p + p_k}{p_k} \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент пористости торфа, соответствующий давлению  $p$ ,  $\varepsilon_0$  – начальный коэффициент пористости,  $p_k$  – начальное внутреннее давление в торфе,  $\alpha$  – показатель уплотнения компрессионной кривой.

Показатель уплотнения компрессионной кривой является весьма важной характеристикой, указывающей на степень сжимаемости грунта под нагрузкой. Колебания величины  $\alpha$  для одного и того же минерального грунта обычно находятся в пределах 5–15 %. Показатель уплотнения торфа зависит от его степени разложения, зольности, переработки, ботанического состава и изменяется в широких пределах.

Начальное внутреннее давление в торфяной залежи невелико и составляет от 0,001 до 0,125 кг/см<sup>2</sup>. Однако для сильно уплотненных торфов оно может изменяться до 0,5 кг/см<sup>2</sup>, а в отдельных случаях даже до 0,9 кг/см<sup>2</sup>.

Так как в большинстве случаев величина начального внутреннего давления в торфе невелика, то в практических расчетах часто пользуются приближенным уравнением компрессионной кривой

$$\varepsilon = A - \alpha \ln p \quad (5)$$

где  $A$  – коэффициент пористости торфа при нормальной нагрузке, равной 1 кг/см<sup>2</sup>.

Некоторые ориентировочные значения параметров компрессионной кривой для торфов разной степени разложения приведены в таблице 4.

Таблица 4

Ориентировочные значения параметров  
компрессионной кривой для торфов разной степени разложения

Грунт	$\alpha$	A
Торф R = 0–10 %	3.0–4.0	8.5–10
10–25 %	2.5–3.0	8.0–9.0
25–40	1.5–2.5	6.0–8.0
40 % и более	0.75–1.5	4.0–6.0
Сапрпель, торфяной ил	0.25–1.5	2.5–4.0

Разработано автором

В последнее время на основании опытов предложено уравнение компрессионной кривой в следующем виде:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{\varepsilon_0 - 1}{2,85} \log \frac{p}{25} \quad (6)$$

где  $p$  – давление в г/см<sup>2</sup>.

Преимуществом данного уравнения является возможность построения компрессионных кривых при наличии только начального коэффициента пористости ( $\varepsilon_0$ ).

Нарушение структуры торфа значительно увеличивает степень сжимаемости его под нагрузкой. Так, по данным исследований, показатель уплотнения компрессионной кривой для торфов нарушенной структуры увеличивается на 10–30 % по сравнению с теми же торфами ненарушенной структуры. В наших исследованиях нарушение структуры осокового торфа (R = 30%) с последующим его уплотнением трамбовкой (работа уплотнения 56,25 тм/м<sup>3</sup> грунта) увеличило показатель уплотнения компрессионной кривой в 1,2 раза.

### Выводы

1. В практике лабораторных исследований уже давно было замечено, что – водопроницаемость торфа с течением времени при длительном испытании образца на фильтрацию уменьшается. Интенсивность замедления скорости фильтрации воды происходит неравномерно: в первое время опыта она наибольшая, а затем уменьшается. Со временем может даже наступить фильтрационное равновесие. Если в течение опыта прекратить подачу воды, то после ее пуска водопроницаемость образца торфа резко увеличится и тем больше, чем большим был перерыв в подаче воды.

2. В практике обычно деформации торфа при сжатии происходят в условиях ограниченной возможности бокового расширения. Однако ввиду их неопределенности деформации грунта изучают при двух возможных случаях, т. е. рассматривают два вида сжатия: (а) сжатие при свободном боковом расширении грунта и (б) сжатие в условиях полного отсутствия бокового расширения.

3. Относительно постоянной характеристикой торфа, не зависящей от влажности, предварительного уплотнения и давления, является коэффициент бокового давления покоя, который определяется как отношение приращения бокового давления к приращению сжимающей нагрузки.

4. Показатель уплотнения компрессионной кривой является весьма важной характеристикой, указывающей на степень сжимаемости грунта под нагрузкой. Колебания величины  $\alpha$  для одного и того же минерального грунта обычно находятся в пределах 5–15 %.

Показатель уплотнения торфа зависит от его степени разложения, зольности, переработки, ботанического состава и изменяется в широких пределах.

5. Нарушение структуры торфа значительно увеличивает степень сжимаемости его под нагрузкой. Так, по данным исследований, показатель уплотнения компрессионной кривой для торфов нарушенной структуры увеличивается на 10–30 % по сравнению с теми же торфами ненарушенной структуры. В наших исследованиях нарушение структуры осокового торфа ( $R = 30\%$ ) с последующим его уплотнением трамбовкой (работа уплотнения  $56,25 \text{ тм/м}^3$  грунта) увеличило показатель уплотнения компрессионной кривой в 1,2 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Носков И.В., Ананьев С.А., Носков К.И. Исследования свойств торфа как материала для устройства противофильтрационных экранов в основаниях зданий и сооружений на заболоченных территориях // Вестник Евразийской науки, 2021 №1, <https://esj.today/PDF/49SAVN121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
2. Иванов К.С. Докембрийские комплексы западной Сибири и ее восточного обрамления. Обзор и следствия для нефтегазовой геологии / Иванов К.С., Панов В.Ф., Лиханов И.И., Козлов П.С., Хиллер В.В., Пономарев В.С., Ерохин Ю.В., Фаррахова Н.Н. / Горные ведомости. 2017. №6 (154). С. 18–32.
3. Бочкарев В.С. О Фундаментальных проблемах геологии Западно-Сибирской геосинеклизы / Бочкарев В.С. / Горные ведомости. 2017. №3 (151). С. 6–24.
4. Иванов К.С. Некоторые итоги изучения геологии и геохимии Урала и Западной Сибири в 2018 году / Иванов К.С. / Уральский геологический журнал. 2018. №6 (126). С. 71–83.
5. Мулявин С.Ф. Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений западной Сибири / Мулявин С.Ф., Маслов В.Н. / Монография / Тюмень, 2016. Том Часть I.
6. Горбунов С.А. Региональная система корреляции и индексации ачимовских резервуаров на севере западной Сибири / Горбунов С.А., Огибенин В.В., Пятницкий Ю.И., Нежданов А.А., Сподобаев А.А. / Экспозиция Нефть Газ. 2016. №6 (52). С. 16–21.
7. Касьянов И.В. Роль процессов карбонатизации пород в формировании залежей углеводородов в западной Сибири / Касьянов И.В., Нежданов А.А. / Геология нефти и газа. 2020. №1. С. 69–79.
8. Тимурзиев А.И. Фундаментная нефть осадочных бассейнов – альтернатива "сланцевого" сценария развития мирового ТЭК (на примере западной Сибири) / Тимурзиев А.И. / Геофизический журнал. 2019. Т. 41. №3. С. 46–77.
9. Гараев А.Р. Условия формирования отложений георгиевской свиты и битуминозных глин (Баженовской, Тутлеймской и Мулымьинской свит) западной Сибири / Гараев А.Р. / Горные ведомости. 2019. №8 (87). С. 24–32.
10. Kurdi, M., Eslamkish, T. Integration of SEM/WDX elemental mapping and micromorphology to determine mineralogical traits of peat soils (case study: Northern Iran). Acta Geochim 36, 298–315 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11631-017-0148-4>.
11. Борисова Л.С. Геохимия верхнеюрских (баженовская свита) и неокомских нефтей северного приобья (западная Сибирь) / Борисова Л.С., Данилова В.П., Костырева Е.А., Фомин А.Н., Фурсенко Е.А., Конторович А.Э. / Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. №10. С. 51–56.
12. Liu, Q., Li, J., Fu, G. et al. Research on the adsorptive kinetic experiments on humus and its spacial variations in the Changjiang (Yangtze) estuary. Chin. J. Geochem. 25, 259 (2006). <https://doi.org/10.1007/BF02840245>.

**Noskov Igor Vladislavovich**

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia  
E-mail: noskov.56@mail.ru

**Ananyev Sergei Anantolevich**

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia  
E-mail: ananda\_hasita@mail.ru

**Osipova Marina Alexandrovna**

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia  
E-mail: kurator.stf@yandex.ru

## **Research of compression properties of peat as material for arrangement of bases of buildings and structures in wetlands**

**Abstract.** As a result of the action of external forces, solid peat particles approach each other, its volume and porosity change, or, as they say, peat gives a precipitate. The article provides information about this change in the volume of peat under the influence of external forces characterizes its compression properties.

The authors noted that the decrease in volume and porosity of peat also occurs when moisture is removed from it by drying. Such a phenomenon, as noted above, is called shrinkage and is obliged to generate compressive forces from internal forces.

The article states that in the general case of compression of a three-phase system, a decrease in the volume of soil occurs by removing water and air from the pores. The compressibility of solid particles and water is neglected, due to the insignificance of values (the compression ratio of water is on average equal to 0.00005, and the solid particles of the soil skeleton – 0.000025). Therefore, when considering the compression of soil completely saturated with water, they proceed from the so-called principle of incompressibility of soil mass, according to which compaction occurs only by removing excess water and reducing porosity.

**Keywords:** peat; bases of constructions; laboratory researches; filtration; filtration coefficient; humidity of soil; porosity of soil; consolidation of the bases; soil density; compression tests; compression