

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

2021, №1, Том 13 / 2021, No 1, Vol 13 <https://esj.today/issue-1-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49SAVN121.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Носков И.В., Ананьев С.А., Носков К.И. Исследования свойств торфа как материала для устройства противofiltrационных 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.

For citation:

Noskov I.V., Ananyev S.A., Noskov K.I. (2021). Investigation of peat properties as material for device of anti-filtration screens in bases of buildings and structures in wetlands. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(13). Available at: <https://esj.today/PDF/49SAVN121.pdf> (in Russian)

УДК 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

Носков Кирилл Игоревич

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Магистрант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
E-mail: nki88@yandex.ru

**Исследования свойств торфа
как материала для устройства противofiltrационных
экранов в основаниях зданий и сооружений
на заболоченных территориях**

Аннотация. В статье описывается практика лабораторных исследований торфа. Приведены описания изменения коэффициента фильтрации во времени, понятия о начальном градиенте фильтрации в торфяных грунтах. Также в статье приведен опыт применения принципов закона Дарси к торфяным грунтам. Данный опыт может быть полезным при устройстве противofiltrационных экранов в основаниях зданий и сооружений на заболоченных территориях. Особенно если учесть, что только в Европейской части России торфа распространены на территории около 30 млн га, а в Азиатской части стран СНГ, в районах Крайнего Севера и Западной Сибири, более чем на 55 млн га, то необходимо признать исследования строительных свойств торфа своевременными.

В статье на уровне современных представлений физики дисперсных систем освещаются физико-механические свойства торфов, важные для оценки их строительных свойств. Особое внимание уделяется коллоидной природе дисперсной части торфов, их водопроницаемости, рассматриваемой в зависимости от строения, состава, активной пористости и удельной

поверхности частиц. Авторами отражены исследования и сделаны обобщения имеющихся в современной литературе данных о применении торфяных грунтов в строительстве в качестве несущего основания и материала для насыпей. При описании свойств торфов как оснований и материала для сооружений рассматриваются уплотнение торфов под нагрузкой, несущая способность торфов и методы улучшения их строительных свойств. Опыт отечественного строительства, особенно земляных и напорных сооружений на торфах и из торфов, а также использование торфов в качестве естественных, а также естественных оснований обобщен, что позволяет авторам сделать ряд весьма важных практических предложений.

Ключевые слова: торф; основания сооружений; лабораторные испытания; фильтрация; коэффициент фильтрации; закон Дарси; противотрафиционные экраны; число Рейнольдса; влажность грунтов; пористость грунтов; уплотнение оснований; плотность грунта

Верхнечетвертичные 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 трафиционное 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 (рисунок 1).

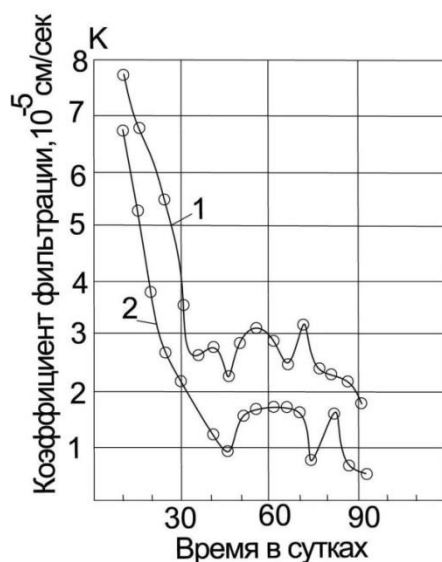


Рисунок 1. График изменения водопроницаемости во времени (составлено автором)

Относительное уменьшение коэффициента фильтрации и время его замедления у разных исследователей колебалось в значительных пределах. Так, по данным опытов, затухание скорости фильтрации для хорошо и среднеразложившихся торфов наблюдалось в течение 8–9 дней, после чего наступала ее стабилизация. Для малоразложившихся торфов, наоборот, скорость фильтрации во времени увеличивалась. Иногда опыты показывали, водопроницаемость торфа уменьшалась на протяжении трех месяцев, причем коэффициент фильтрации понизился в 1,5–2 раза по сравнению с первоначальным значением [1].

Испытания на объектах строительства Новосибирской области показали, что стабилизация водопроницаемости образцов торфа средней степени – разложения наступала по истечении 10–15 дней и коэффициент фильтрации уменьшился в 1,5–2 раза, а при повторном испытании даже в 4–8 раз.

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 [2];
- 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 [3].

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.

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.

Это обосновывает уменьшение коэффициента фильтрации во времени образованием пузырьков заземленного воздуха, присутствие которого резко снижает активную пористость образца, увеличивает вязкость воды и тем самым уменьшает водопроницаемость.

В опытных рекомендациях дорожных строительных организаций указывается, что помимо уже перечисленных факторов, которые могут иметь место каждый в отдельности или в различных сочетаниях, имеют место и другие причины замедления фильтрации, которые, в частности, обуславливаются – появлением потенциального течения и капиллярного осмоса, противопоставленные по природе своей электроосмотическому движению.

Если движение ионов и связанное с ним движение молекул воды вызывать гидродинамическим давлением, то вследствие обратимости процесса на концах капилляров должна возникнуть разность потенциалов, тормозящая движение воды в капиллярах и приводящая, естественно, к замедлению скорости фильтрации [4].

После прекращения подачи воды разность потенциалов, обусловленная движением воды, исчезает, а при возобновлении фильтрации будет постепенно возрастать от нуля до – некоторого конечного значения, вызывая возрастающее сопротивление движению воды. Аналогичную роль в этом процессе замедления фильтрации может играть и градиент химического потенциала.

Следует отметить, что ни одна из перечисленных причин замедления скорости фильтрации в торфяных грунтах с течением времени не может считаться окончательно достоверной, так как каждая из них является скорее результатом субъективных выводов из наблюдаемого явления, нежели подтвержденным на опыте критерии истины.

Для выяснения пригодности любого из перечисленных доводов и обоснований явления замедления фильтрации необходимо проведение целого комплекса специальных лабораторных и полевых исследований.

Применение закона Дарси к торфяным грунтам

В настоящее время еще нельзя считать, что существует общий закон движения грунтовых вод, который мог бы применяться с достаточной точностью ко всем грунтам и при всех условиях. Лишь целый ряд сравнительно недавних исследований, экспериментальных и теоретических, позволил сделать некоторые выводы о характере движения грунтовых вод в различных почвах и грунтах, а также выяснить силовое воздействие на поток и установить зависимости между различными компонентами механического движения воды в грунтах.

Сложность изучения особенностей движения воды в грунтах заключается в том, что в грунтах наряду с чисто гидромеханическими факторами, определяющими скорость движения воды (напор и др.), действуют еще факторы химические, биологические, структурные и т. д., которые существенно влияют на характер движения воды в грунтах и численный учет которых чрезвычайно затруднен [5].

Особенно сильно указанные факторы (степень разложения, дисперсность, ботаническое происхождение и др.) проявляются в торфяных грунтах, необходимость учета которых затрудняет установление единых количественных связей для получения закона движения воды.

$$I = nV^m \quad (1)$$

где I – падение напора, где на единицу длины фильтрации;

n – коэффициент сопротивления, зависящий от структуры почво-грунта и вязкости воды;

V – скорость движения воды, отнесенная ко всей площади;

m – показатель степени, зависящий от состояния потока и качества фильтрующего материала ($m = 1,0$).

Приведенный закон при $m = 1,0$ выражает линейную зависимость между скоростью движения грунтовых вод и гидравлическим уклоном [6].

Указанная зависимость, как известно, впервые установлена французским инженером Дарси в 1886 г. и, по данным многих исследователей, при определенных условиях наиболее точно выражает закон изменения скорости движения воды при ее фильтрации через пористый материал, в частности через грунт.

В формуле Дарси этот закон имеет вид:

$$V = K_{\phi} I \quad (2)$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, являющийся основной числовой характеристикой водопроницаемости грунтов. Физический смысл коэффициента фильтрации – скорость движения в конкретном грунте при гидравлическом градиенте, равном единице. Размерность K_{ϕ} , очевидно, совпадает с размерностью скорости $\frac{L}{T}$ (объем в единицу времени). Говоря о скорости фильтрации в данном (случае, мы имеем в виду не действительную скорость движения воды в порах, а некоторую фиктивную величину, которая может дать величину действительной скорости при делении ее на величину порозности (p).

Так, $\frac{V}{p} = U_d$ дает значение действительной скорости движения воды по поровому пространству грунтовой залежи.

При очень больших значениях p (например $p = 1,0$) скорости, фиктивная и действительная, различаются незначительно, что имеет место – в торфяных, в частности, и тонкозернистых грунтах вообще.

С целью изучения возможности применения закона Дарси к фильтрации воды через торфяную залежь были проведены соответствующие исследования различными исследователями.

Коллектив инженеров геологов ОАО «ГипроДорНИИ» в 2008 г изучил фильтрационные особенности 10 разных по геоботаническому происхождению видов торфяников.

Результаты этих исследований в основном могут быть выражены графически в виде прямой линии, проходящей через начало координат, подтверждая, таким образом, наличие закона о прямолинейной зависимости между скоростью фильтрации и гидравлическим уклоном (градиентом).

Было установлено-, что закон Дарси достаточно точен при небольших уклонах и малых скоростях фильтрации, примерно при $I < 1$.

Было установлено, что наилучшее -согласование с явлением Дарси имеет место в торфах с высокой степенью разложения – как обладающими наименьшим коэффициентом уплотнения.

Торфы, вполне разложившиеся и включающие большое количество древесных остатков, имеют очень хорошую водопроницаемость в горизонтальном направлении и движение воды в них лучше согласуется с формулой вида:

$$V = K\sqrt{I} \quad (3)$$

так как здесь имеет место турбулентный режим движения и целесообразно применение уравнения Шези

Многочисленные опыты по фильтрации через торфяной грунтовой массив показали, что закон Дарси имеет лишь определенные границы применимости. В таком случае, возможно, использовать в качестве основного критерия применимости закона Дарси – к фильтрации через грунтовой массив число Рейнольдса. Но для этого необходимо производить опытное уточнение на каждом отдельном объекте.

Уточнение критериев для суждения о применимости закона Дарси к фильтрации через грунт велось до самого последнего, времени и в этой области имеется ряд достижений, но принципиальной основой следует считать идею о тех пределах числа Рейнольдса, при которых пользование уравнением Дарси не приводит к ошибкам [7; 8].

Понятие о начальном градиенте фильтрации в торфяных грунтах

Многочисленные исследования фильтрационных свойств грунтов показали, что закон Дарси как основная количественная характеристика водопроводимости грунта, принципиально может быть применима лишь к тем дисперсным системам, в которых превалирующую роль играет свободная вода. В высокодисперсных системах нормальной влажности большое количество воды находится в поле действия молекулярных сил. Такого рода вода обладает механической прочностью-упругостью и для ее движения, помимо обычного градиента (соответствующего уравнению Дарси), необходимо приложить некоторый добавочный градиент, который должен нарушить связь между частицами воды и скелетом грунта, обусловленную силами молекулярного притяжения.

Следовательно, закон Дарси при наличии описанных условий фильтрации через торф принимает следующий вид:

$$V = K(I - I_0) \quad (4)$$

где I_0 есть начальный градиент фильтрационного потока, при котором лишь начинается движение воды в грунте, иначе говоря, который позволяет преодолеть сопротивление движению жидкости, находящейся в поле действия молекулярных сил.

Естественно, что величина начального градиента для торфов, основное различие которых обуславливается лишь степенью дисперсности и влажностью, различна и о каждом отдельном случае проявляется по-разному.

Понятие о начальном градиенте при изучении фильтрации в торфах позволяет довольно хорошо объяснить ряд явлений, наблюдаемых при фильтрации грунтовой воды в торфяной залежи.

Именно существованием некоторого начального сопротивления, которое и обуславливает сущность и величину начального градиента I_0 , могут быть довольно логично объяснены те изменения коэффициента фильтрации во времени, которые уже рассматривались выше.

Действительно, пусть в некоторый начальный момент фильтрации образец торфа был подвергнут некоторому градиенту I , действие которого оказалось недостаточным для преодоления сопротивления, оказываемого водой капилляров и мелких пор, находящейся частично в поле действия молекулярных сил. Фильтрация через торф в этом случае не начнется. При увеличении градиента до некоторого значения I_0 , величина которого становится достаточной для преодоления этого сопротивления, начнется движение воды через торфяной массив, причем под действием градиента движущаяся вода оказывает на частицы твердого скелета большее гидродинамическое давление, чем то, которое испытывает скелет в состоянии равновесия, и поэтому происходит отрыв частиц. Это вызывает переукладку их и кольматаж всех крупных пор мелкими частицами, которые откладываются при снижении скорости движения воды в более крупных порах. Естественно, что таким образом происходит уменьшение активной порозности грунта и замедление фильтрации.

Новой уплотненной дисперсной системе соответствуют большие значения градиентов I_0 . При этом фильтрация затухает и может стать равной нулю в зависимости от величины действующих градиентов.

С точки зрения динамики грунтовой массы различаются 2 фазы процесса фильтрации: неустановившуюся, которая сопровождается явлениями переноса грунтовых частиц и их перераспределения по всему объему фильтрующего грунта, и установившуюся [9].

При установившейся фильтрации скелет грунта не претерпевает никаких изменений, а напор, скорость, влажность грунта и давление в каждой точке грунтового скелета остаются постоянными. К этой фазе и может быть применена обычная теория фильтрации, количественно выражаемая законом Дарси в виде

$$V = KI \quad (5)$$

Применение закона Дарси в виде линейной зависимости к неустановившейся фильтрации без учета тех изменений, которые претерпевает фильтрующая среда, неизбежно приводит к ошибкам и кажущимся противоречиям между наблюдаемыми явлениями и законом Дарси [10].

По изучению природы, сущности и величин начального градиента фильтрации для грунтов, разных видов и в различном состоянии было проделано большое число экспериментальных работ. Коллективом инженеров геологов ОАО «ГипроДорНИИ» в 2008 г.

проводились работы, уточняющие природу и сущность начального градиента. Ими так же проводились исследования начального градиента в торфяных грунтах [11].

В настоящее время уже имеется достаточно подробно и строго разработанная теория расчета периода консолидации оснований сооружений с учетом величины начального градиента фильтрации.

Опытами установлено, что величина и влияние I_0 зависят от степени дисперсности, влажности и давления, под которым находится грунт.

Капиллярные свойства и коэффициент фильтрации. Установление количественной связи между h_k и K_f

Если предположить, что форму и размеры капиллярных пор в любом почво-грунте можно определять условно радиусом r , предполагая, что капилляр имеет цилиндрическую форму, то по уравнению Пуазейля скорость движения воды выразится в следующем виде:

$$V = \frac{\Delta r^2}{8\mu} \quad (6)$$

где V – скорость движения в капиллярной трубке, r – радиус трубки, μ – коэффициент вязкости жидкости.

Капиллярные свойства данного почво-грунта определяются высотой поднятия воды в капилляре, которая может быть найдена из известного уравнения Лапласа:

$$h_k = \frac{2\alpha}{\Delta r} \quad (7)$$

где h_k – высота подъема воды в капилляре, α – коэффициент капиллярного натяжения, $\alpha = 73,52$, Δ – удельный вес воды.

В различной научной литературе предложен метод определения коэффициента фильтрации грунта по известным капиллярным свойствам грунта – высоте поднятия [9; 10].

Решая оба уравнения (7) и (6) относительно r , получается выражение для K_f в виде:

$$K_f = \frac{\alpha^2}{2\Delta\mu} \frac{n}{h_k^2} \quad (8)$$

После подстановки в него численных значений α , Δ , μ и принятия $n = 1$ (для цилиндрической трубки), а также учитывая, что $V = K_f n$, уравнение для K_f примет следующий простой вид:

$$K_f = \frac{241,62}{h_k^2} \quad (9)$$

Это уравнение позволяет определить аналитически коэффициент фильтрации, если изучены капиллярные свойства грунта и известна высота поднятия h_k .

Связь между коэффициентом фильтрации K_f и высотой капиллярного поднятия может быть выражена графически.

Простейший анализ формулы и графической связи между K_f и h_k показывает, что увеличение h_k (что происходит при увеличении степени дисперсности и др.) ведет к резкому снижению фильтрационных свойств и наоборот.

Следует указать, что эти уравнения выведены при допущении ламинарного движения воды по грунтовым полостям, и поэтому они не могут применяться в тех случаях, когда h_k , например, очень мало, так как при этом поры в грунте достаточно велики и может иметь место турбулентный режим течения. При очень больших значениях h_k формула (9) также не может применяться, так как в этом случае поры настолько малы, а частицы грунта настолько дисперсны, что может приобрести значение и влияние Броуновское движение в дисперсной системе, которое не учитывается формулами (6) и (7).

Выводы

1. Основные условия применимости закона Дарси к фильтрации в грунтах сводятся к следующему:

- градиент достаточно велик, чтобы пренебречь хотя и ничтожным, но все же имеющим место сцеплением в грунтах;
- градиент достаточно мал, чтобы пренебречь влиянием турбулентности;
- градиент достаточно мал, чтобы пренебречь влиянием, гидродинамических усилий на величину коэффициента фильтрации.

2. Рассмотренные выше практика лабораторных исследований торфа может быть также использованы при выполнении строительных работ и на сильно заболоченных грунтовых основаниях. Для этого достаточно непосредственно на конкретном объекте произвести уточняющие лабораторные испытания, с анализом изменения коэффициентов фильтрации. На основании полученных данных можно произвести корректировку каждой отдельной технологии. Это значительно снизит материальные и трудовые затраты, при значительном увеличении степени уплотнения слабых грунтовых оснований. Данный опыт может быть полезным при устройстве противofильтрационных экранов в основаниях зданий и сооружений на заболоченных территориях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ершов С.В. Палеобатиметрия позднеюрско-неокомского бассейна севера западной Сибири и влияние на нее природных процессов / Ершов С.В. Геология и геофизика. 2016. Т. 57. №8. С. 1548–1570.
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. 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.

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

Noskov Kirill Igorevich

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia
E-mail: nki88@yandex.ru

Investigation of peat properties as material for device of anti-filtration screens in bases of buildings and structures in wetlands

Abstract. The article describes the practice of laboratory studies of peat. Descriptions of the change in filtration coefficient over time, the concept of the initial filtration gradient in peat soils are given. The article also describes the experience of applying the principles of the Darcy Law to peat soils. This experience can be useful in the construction of anti-filtration screens in the bases of buildings and structures in wetlands. Especially considering that only in the European part of Russia peat is distributed in the territory of about 30 million hectares, and in the Asian part of the CIS countries, in the regions of the Far North and Western Siberia, more than 55 million hectares, it is necessary to recognize studies of the building properties of peat as timely. The article at the level of modern representations of the physics of disperse systems highlights the physical and mechanical properties of peat, important for assessing their building properties. Particular attention is paid to the colloidal nature of the dispersed part of peats, their water permeability, considered depending on the structure, composition, active porosity and specific surface area of the particles. The authors reflect the research and generalizations of the data available in the modern literature on the use of peat soils in construction as a supporting base and material for embankments. When describing the properties of peat as a base and material for structures, the compaction of peat under load, bearing the capacity of peat and methods for improving their building properties are considered. The experience of domestic construction, especially earthen and pressure structures on peat and peat, as well as the use of peat as natural, as well as natural grounds, is generalized, which allows the authors to make a number of very important practical proposals.

Keywords: peat; bases of constructions; laboratory researches; filtration; filtration coefficient; Darcy's law; antifiltrational screens; Reynolds number; humidity of soil; porosity of soil; consolidation of the bases; soil density