

*боты пневмокомбайнов. //Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н./.* Калинин, 1973. – 245 с.

4. *Столбикова. Г.Е. Процессы открытых горных работ. Фрезерный торф/ Г.Е. Столбикова, О.С. Мисников, В.Н. Иванов. -Тверь: ТвГТУ, 2017. – 160 с.*

5. *Васильев А.Н. Повышение выработки технологических машин: монография/ А.Н. Васильев. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018. – 196 с.*

6. *Купорова А.В., Болтушкин А.Н., Беляков В.А. Совершенствование технологии добычи фрезерного торфа низкой степени разложения// В сб.: Саморазвивающаяся среда технического университета в 2-х частях. Тверь. 2017. – С. 115-120.*

УДК [552.574:53]:[553.97:626.86]

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДНЫХ СВОЙСТВ ТОРФЯНЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ОСУШЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Мисников О.С.**

*Тверской государственный технический университет*

*Выполнен анализ изменения водно-физических свойств торфяных систем при обезвоживании. При сушке и последующем увлажнении торфа наблюдаются три этапа, связанные со структурообразованием в системе. Границей перехода из состояния «торф в воде» в состояние «вода в торфе» является влагосодержание равное единице. В состоянии «вода в торфе» система теряет способность восстановления исходных характеристик.*

Для эффективного осушения торфяных месторождений необходим анализ информации по их гидрологическим особенностям. Они обусловлены геоморфологией, характером водного питания, видами растительного покрова, а также условиями внутреннего и внешнего влагообмена в залежи. Научное обоснование водно-физических свойств торфяных отложений базируется на классификации форм связи влаги с материалом [1]. Верхней границей, при которой вода механически удерживается торфом, является относительная влажность 89...90 %. Выше этих значений влага в болоте относится к категории свободной. Граничные условия могут изменяться в большую или меньшую

сторону в средних пределах от 2 до 6 %. Это зависит от характеристик торфа, формирующего залежь.

Основная цель осушения – понижение уровня грунтовых вод (УГВ) в торфяной залежи до требуемой нормы [2]. Норма зависит от конкретного направления дальнейшего использования месторождения. После строительства осушительной системы влажность слоя торфа, расположенного выше УГВ уменьшается примерно на 3...5 %. В естественном состоянии влажность торфяного болота имеет высокие значения и в основном зависит от степени разложения торфа  $R_T$  и типа торфяной залежи [3]. В нативном болоте массовое содержание воды в среднем в 5,7...17,5 раз выше содержания сухого вещества торфа [1].

При добыче фрезерного торфа эксплуатационная влажность ( $w_e$ ) должна соответствовать нормам технологического проектирования ( $w_e = 75...79\%$ ) [4]. При производстве же кускового торфа фрезформовочным способом значения средней влажности торфяной залежи несколько выше. В качестве примера, количество удаляемой воды при осушении болота от естественной до эксплуатационной ( $w_s$ ) влажности представлено в таблице.

Таким образом, в условиях естественного состояния болот, более корректно использовать понятие «торф в воде», а не «вода в торфе». Оно применимо и после проведения осушительных работ. Хотя месторождение в таком состоянии и обладает структурной прочностью, это все же позволяет отнести его к категории «поверхностный водный объект».

Исследование состояния болотных систем при их обезвоживании во всем диапазоне влагосодержаний сопряжено с рядом трудноразрешимых задач, связанных главным образом с сушкой.

В настоящей работе проведено исследование на модельных образцах торфа с последующим масштабированием результатов на макрообъект (торфяное месторождение).

В экспериментах использовались два вида верхового торфа: пушицево-сфагнового с  $R_T = 25\%$  и магелланикум с  $R_T = 20\%$ .

Основной задачей исследований было проведение анализа изменения величины полной влагоемкости  $W_{II}$  от текущего влагосодержания образцов в процессе их сушки. Для этого была применена комплексная методика исследований, которая включала в себя выполнение следующих работ.

Таблица – Влажность фрезеруемого слоя при добыче кускового торфа фрезеромочным способом

Степень разложения, %	Эксплуатационная влажность $w_3$ , %	Средняя масса (кг) удаляемой при осушении от $w_6$ до $w_3$ воды, приходящаяся на 1 кг сухого торфа
20...24	82	8,0
25...29	81	6,9
30 и более	80	5,4

1. Формование из торфа цилиндрических образцов диаметром  $d = 30, 40$  и  $60$  мм и длиной  $l = 1,5d$ , осуществляемое в шнековом экструдере в диапазоне влажности торфомассы от 75 до 80 %.

2. Дополнительная механическая переработка торфомассы перед формованием. Она позволяет увеличить удельную поверхность  $S$  ( $\text{м}^2/\text{кг}$ ) торфяных частиц, слагающих образец. В экспериментах удельная поверхность определялась методом мокрого ситового анализа [5].

3. Сушка экспериментальных образцов при конвективном подводе теплоты, относительной влажности воздуха 70 %, температурах  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  (свободная конвекция, «мягкий» режим) и  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  (вынужденная конвекция, «жесткий» режим).

4. Определение полной влагоемкости образцов по мере уменьшения их влагосодержания в процессе сушки.

5. Анализ изменения физических и структурно-механических параметров органоминеральных систем на протяжении всего процесса сушки, и сопоставление их с ранее полученными данными [1, 3, 5-7].

Удельная поверхность частиц торфа в образцах (рис. 1) составляла: 360 (1, 1'), 460 (2, 2') и 550 (3, 3')  $\text{м}^2/\text{кг}$ . В результате экспериментов было установлено, что  $W_n$  зависит от структурных изменений, связанных с сушкой материала. При последующем увлажнении подсушенных образцов наблюдается снижение их полной влагоемкости. Причем эта зависимость не носит линейного характера.

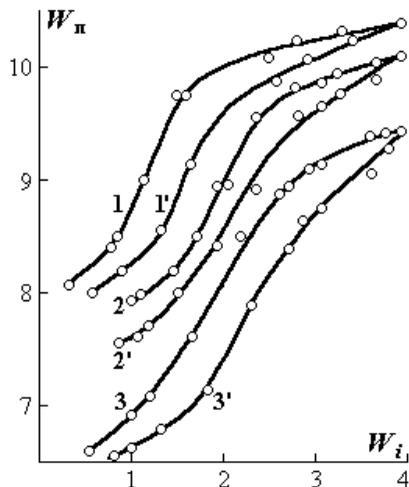


Рис. 1 – Изменение величины полной влагоемкости  $W_p$  (кг/кг) формованных образцов верхового пушицево-сфагнового торфа  $R_T = 25\%$  при сушке: в «мягком» (1, 2, 3); «жестком» (1', 2', 3') режимах (пояснения в тексте).

На графиках есть зона, до достижения которой система практически полностью восстанавливает свои свойства ( $W_p$  стремится к максимальным значениям). Она отчетливо проявляется на графиках 1, 1' (рис. 1), то есть в образцах с наименьшей (для данного эксперимента) степенью механического диспергирования. Влагосодержание в этой зоне составляет примерно от 4 до 2,7 кг/кг, что соответствует полной влагоемкости 10,5...9,8 кг/кг. При понижении влажности в торфе начинают происходить необратимые изменения и первоначальные значения полной влагоемкости уже не достигаются. Но они могут быть достаточно высоки при сушке до  $W_i \sim 1$  кг/кг. Причем при увеличении степени механического диспергирования полная влагоемкость снижается и система становится более зависимой от текущей влажности (сравнить кривые 1, 1' с кривыми 2, 2' и 3, 3' на рис. 1).

Обратный процесс – сушка – начинается при высокой начальной влажности, когда образец находится в набухшем состоянии. В этом состоянии полости между макромолекулами органического вещества торфа, их агрегатами и ассоциатами заполнены влагой. Причем процесс усложняется еще и тем, что

сами агрегаты и ассоциаты органического вещества торфа проницаемы для молекул воды. При ее удалении происходит усадка торфа (или осадка торфяной залежи), увеличивается плотность и снижается его проницаемость. Это затрудняет перемещение молекул воды к зоне испарения, что требует дополнительных затрат энергии на удаление влаги из торфа.

Анализ экспериментальных данных (рис. 1) показывает, что процесс обезвоживания начинает необратимо изменять структуру торфа при понижении влагосодержаний до 2...1 кг/кг. Особенно это заметно, при оценке влияния режима сушки. При более «жестком» режиме глубина изменений в структуре торфа выше. Это связано с нехваткой времени для протекания потенциально возможного структурообразования и полной релаксации усадочных напряжений.

Также вероятность проявления необратимых процессов в торфе при обезвоживании возрастает с уменьшением размеров торфяных образцов [8]. Это объясняется тем же механизмом, который проявляется в мелкодисперсном торфе (уменьшение содержания внутриассоциатной и внутриагрегатной влаги) [9].

Применительно к процессу осушения торфяной залежи (макрообъекту с ненарушенной структурой торфяных отложений и средней удельной поверхностью менее 100 м<sup>2</sup>/кг) это означает, что необратимые изменения в структуре до влагосодержаний  $W = 2...2,5$  кг/кг маловероятны.

Интенсивность процесса сушки торфа увеличивается с повышением качества осушения залежи. При небольшом расстоянии до уровня грунтовых вод наблюдается значительная подпитка верхних слоев осушенного месторождения влагой. Это происходит за счет поднятия воды по капиллярам, что увеличивает их влагосодержание. Одновременно происходит дополнительное (хотя и сравнительно небольшое) удаление влаги за счет последующего испарения. Такой подход справедлив для неуплотненной торфяной залежи. Если же на месторождении идет добыча торфа, то многократные проезды технологического оборудования приводят к дополнительному уплотнению верхних слоев залежи (на 25...35 %). Это способствует уменьшению диаметра капилляров и увеличению высоты подъема капиллярной влаги. Экспериментально установлено, что высота капиллярного поднятия может увеличиваться на 20...40 % [8].

Граничной точкой (зоной), при которой торфяная (процесс сушки) или болотная (осушение) система переходит в состояние

«вода в торфе», является влагосодержание  $W = 1$  кг/кг ( $w = 50 \%$ ). Ранее [7, 8] было установлено, что при влагосодержаниях близких к этой точке происходят качественные структурные изменения при сушке не только торфяных, но и сапропелевых систем. Однако в этом случае процесс усложняется за счет присутствия в сапропелях большего количества зольных компонентов.

Наиболее показательно это проявляется при переходе органической (органоминеральной) системы от первого ко второму периоду структурообразования (по А.Е. Афанасьеву) [6-8]. Границей этих периодов является точка  $W_c$ . Для торфа различных типов и видов, а также органического сапропеля она соответствует влагосодержанию, примерно равному единице  $W_c \approx 1$  кг/кг. Связано это с тем, что в этой точке (области) происходит скачкообразное изменение структурных параметров в связи с новым состоянием системы. По всей вероятности здесь начинают массово проявляться водородные взаимодействия между макромолекулами органического вещества материала [6, 8]. Но, при традиционном осушении болот, таких значений влажности не достигается. Они частично могут к ним приближаться только при мелиоративном осушении болот для последующего сельскохозяйственного использования. В этом случае, наряду со снижением влагосодержания, происходят процессы минерализации торфа [10], что также уменьшают его водопоглощительные характеристики.

Таким образом, анализ процессов водорегулирования (рис. 2) на болотах взаимосвязанных с водно-физическими свойствами торфяных отложений показывает, что в естественном состоянии болото относится к поверхностному водному объекту.

Проведение осушения позволяет снизить среднюю влажность в разрабатываемом слое торфяного болота до 75...88 %. Однако и в этом случае содержание воды превышает содержание торфа в 3...7 раз в зависимости от способа его добычи. Средняя влажность в месторождении будет выше эксплуатационной. Влажность в зоне УГВ при осушении не снижается. В зоне капиллярного поднятия она также будет выше эксплуатационной. Поэтому при повторном обводнении болото восстанавливает свои свойства. В этом случае системы эксплуатационного осушения и противопожарного водоснабжения (системы двойного назначения), достаточно быстро осуществляют (при необходимости) подтопление осушенных территорий.



Рис. 2 – Классификация торфяных болот по степени их осушенности (пояснения в тексте)

Оно обеспечивает постоянное или временное сосредоточение воды на поверхности в формах своего рельефа, имеющего границы, объем и черты водного режима. Причем массовое содержание торфа в нем составляет в среднем от 5 до 12%, т. е. в 7,3... 19 раз меньше, чем содержание воды.

Таким образом, результаты исследований могут являться основанием для отнесения торфяных месторождения, на которых осуществляется промышленная добыча торфа к поверхностным водным объектам (Позиция I, рис. 2). Регулируемые и нерегули-

руемые системы осушения, применяемые для мелиорации земель, могут понижать влажность месторождения ниже 50 %. При этом система переходит из состояния «торф в воде» в состояние «вода в торфе», поскольку их массовые доли сначала выравниваются, а затем количество воды уменьшается. Дополнительная аэрация верхнего слоя осушенного болота приводит к усилению минерализации органического вещества торфа и еще большему снижению его водопоглощительных характеристик.

При таких значениях влагосодержания происходят глубокие структурные изменения в торфяной системе. Прежние значения водопоглощения при повторном заболачивании она не достигает. Болото в таком состоянии уже нельзя относить к категории «поверхностный водный объект» (Позиция III, рис. 2).

Осушенные торфяные болота с влажностью 50...70 % находятся в переходном состоянии (Позиция II, рис. 2). Масса воды незначительно превышает массу торфа, но в нем уже начинают проявляться процессы изменения природных характеристик. Применение различных методов увлажнения осушаемых торфяников позволяет несколько сглаживать последствия этих процессов. Однако они не могут в корне изменить ситуацию, поскольку основными задачами увлажнения на осушенных для сельскохозяйственного использования болотах является создание благоприятного водно-воздушного режима для корнеобитаемой зоны растений. Такой режим будет способствовать минерализации верхнего слоя.

В случае восстановления режима водного питания, в течение определенного промежутка времени на объекте снова возобновиться болотообразовательный процесс: появление свободной поверхности воды, рост и отмирание растений-торфообразователей и т. п. При количественном переходе массы воды по отношению к массе торфа свыше 50 %, болото также со временем можно будет отнести к категории «поверхностный водный объект».

### **Библиографический список**

1. Лиштва́н, И.И. *Физико-химические основы технологии торфяного производства* / И.И. Лиштва́н, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Мн.: Наука и техника, 1983. – 232 с.
2. Болтушкин, А.Н. *Гидротехника* / А.Н. Болтушкин, О.В. Пухова, А.Е. Тимофеев. Тверь: ТвГТУ, 2013. – 160 с.
3. Лиштва́н, И.И. *Физические процессы в торфяных залежах* / И.И. Лиштва́н, Е.Т. Базин, В.И. Косов. Мн.: Наука и техника,

1989. – 287 с.

4. Столбикова, Г.Е. *Процессы открытых горных работ. Фрезерный торф.* / Г.Е. Столбикова, О.С. Мисников, В.А. Иванов. Тверь: ТвГТУ, 2017. 160 с.

5. Пухова, О.В. *Закономерности изменения физических свойств торфа при его переработке и сушке: Автореф. дис. ... канд. техн. Наук* / О.В. Пухова. Тверь: ТГТУ, 1998. – 16 с.

6. Афанасьев, А.Е. *Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства* / А.Е. Афанасьев, Н.В. Чураев. М.: Недра, 1992. – 288 с.

7. Афанасьев, А.Е. *Оценка структурных характеристик при сушке формованных органических и органоминеральных биогенных материалов* / А.Е. Афанасьев, О.С. Мисников // *Теоретические основы химической технологии*, – 2003. – Т. 37. – № 6. – С. 620-628.

8. Афанасьев, А.Е. *Структурообразование коллоидных и капиллярно-пористых тел при сушке* / А.Е. Афанасьев. Тверь: ТвГТУ, 2003. – 189 с.

9. Антонов, В.Я. *Технология полевой сушки торфа* / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов. – М.: Недра, 1981. – 239 с.

10. Мисников, О.С. *Разработка научных принципов утилизации промышленных отходов с комплексным использованием ресурсов торфяных месторождений: Автореф. дис. ... докт. техн. наук* / О.С. Мисников. Тула: ТулГУ, 2007. – 40 с.

УДК [552.574:53]:[553.97:626.86]

## **ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С УСЛОВИЯМИ ЗАЛЕГАНИЯ НА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПЕСКАХ**

**Мокроусова И.В., Лаптева С.Б.**

*Тверской государственный технический университет*

*На основании анализа фактического материала по содержанию макроэлементов в низинных торфяных залежах Тверской области с условиями залегания – на аллювиальных песках дается характеристика аккумуляции и миграции химических элементов в торфяных месторождениях с геохимических позиций.*

Содержание химических элементов в торфяных залежах связано с условиями их залегания. Особенно тесная взаимосвязь проявляется в низинных торфяных месторождениях, характери-