

Земледелие и растениеводство

УДК 631.6: [631.445: 544.77.052.5]

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСУШЕННОЙ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ОСАДКИ

Н. М. Авраменко, кандидат технических наук

Государственное предприятие «Полесская опытная станция»,
пос. Полесский, Лунинецкий район, Брестская область, Беларусь

Аннотация

Характеристикой послойной осадки осушенной торфяной залежи может служить коэффициент сжатия (уплотнения). Показателем уплотнения торфяной залежи является изменение объемной массы. Установлено, что дальнейшее (после 56 лет) уплотнение осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см будет в основном происходить в остаточных верхних слоях с первоначальными глубинами 0,5 и 1,0 м. В работе предложены методики определения прогнозных величин объемной массы в этих уплотненных слоях торфяной залежи с использованием ее величины на начало расчетного периода и величины коэффициента сжатия в конце этого периода. Применение предложенных методик позволяет определить показатель уплотнения верхних слоев осушенной торфяной залежи (объемную массу) с ошибкой, не превышающей в среднем 0,021 г/см³. Расчеты по полученным в результате исследований зависимостям показывают, что переход верхнего полуметрового слоя осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв (объемная масса 0,6 г/см³) произойдет через 79–83 года после осушения, а верхнего метрового – через 159–173 года при исходной (до осушения) мощности торфяной залежи 150–200 см.

Ключевые слова: торфяная залежь, осушение, осадочная площадка, послойная осадка торфяной залежи, осадочные реперы, объемная масса, коэффициент сжатия (уплотнения).

Abstract

N. M. Avramenko CHANGES IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF DRAINED PEAT DEPOSIT IN THE PROCESS OF ITS SEDIMENTATION

The characteristic of the layer-by-layer precipitation of the drained peat deposit is the compression ratio (compaction). An indicator of the compaction of peat deposits is the bulk density. It is established that further (after 56 years) compaction of the drained peat deposit with a capacity of 150–200 cm will mainly occur in the residual upper layers with initial depths of 0.5 and 1.0 m. The methods for determining the predicted values of the bulk mass in these compacted layers of the peat deposit using its value at the beginning of the calculation period and the value of the compression ratio at the end of this period are proposed. The application of the proposed methods allows to determine the index of compaction of the upper layers of the drained peat deposit (bulk mass) with an accuracy not exceeding an average of 0.021 g/cm³. Calculations on the dependences obtained as a result of the studies show that the transition of the upper half-meter layer of the drained peat deposit to the zone of post-peat soils (volume mass 0.6 g/cm³) will occur in 79–83 years after drainage, and the upper meter – in 159–173 years at the initial (before drainage) power of the peat deposit 150–200 cm.

Keywords: peat deposit, drainage, sediment area, layer-by-layer precipitation of the drained peat deposit, sedimentary benchmarks, volume weight, compression ratio (compaction).

Введение

Изменение физических свойств осушенной торфяной залежи в процессе ее осадки изучается нами с 1961 г. на стационарных осадочных площадках мелиоративной системы «ПОМС» Лунинецкого района Брестской области. Осадочные площадки расположены между каналом Б-1-4 и осушителем 28

(Е = 200 м) на расстоянии 14, 54 и 100 м от проводящего канала Б-1-4 (ПК 10). Площадки соответственно были представлены следующими начальными глубинами низинного осоково-тростникового торфа: 180, 200 и 150 см. Осадочные площадки прямоугольной формы размером 5,5×2,3 м огорожены по периметру жердяной изгородью. Изначально торфяная

залежь на площадках не подвергалась обработке сельскохозяйственными орудиями. На них произрастает естественная травяная растительность, которая периодически скашивается вручную и убирается. Изучение послойной осадки торфа производится путем периодического нивелирования поверхности площадок и осадочных реперов, заложенных на глубинах 20, 50, 100, 120 и 150 см. Подробная методика исследований на осадочных площадках изложена в работах [1–3].

Результаты исследований и их обсуждение

Характеристикой послойной осадки осушенной торфяной залежи является коэффициент сжатия (уплотнения), $K_{сж.}$:

$$K_{сж.} = \frac{h_i}{h_{i+n}}, \quad (1)$$

где h_i – толщина торфяного слоя на начало рассматриваемого периода, м;

h_{i+n} – толщина торфяного слоя на конец рассматриваемого периода, м.

Из табл. 1–3 следует, что за период наблюдений (1961–2017 гг.) за послойной осадкой осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см наибольшим коэффициентом сжатия характеризуется граничащий с атмосферой верхний начальный 20-сантиметровый слой. Величина $K_{сж.}$ по причине происходящих здесь более интенсивных физико-химических процессов составила 6,67–11,11. В результате них этот слой через 56 лет после осушения практически полностью сработался. На втором месте по величине коэффициента сжатия за период осушения оказался начальный верхний 0,5-метровый слой торфяной залежи и на третьем – начальный верхний 1-метровый слой с $K_{сж.}$ соответственно равными 3,01–3,42 и 2,29–2,38. Из этого следует, что дальнейшее уплотнение торфяной залежи по глубине главным образом будет происходить в верхних слоях с первоначальной глубиной 0,5 и 1,0 м.

Исходный верхний 0,5-метровый слой торфяной залежи на осадочных площадках с исходной мощностью торфа 180, 200 и 150 см уменьшился (уплотнился) к 2017 г. соответственно до 14,6, 16,0 и 16,6 см, а первоначальный верхний 1-метровый слой – соответственно до 43,5, 43,6 и 42,0 см (табл. 1–3).

Показателем уплотнения торфяной залежи является изменение (увеличение) объемной массы. Отбор проб для ее определения на осадочных площадках осуществлялся в 1961, 1987, 1993, 2004, 2009, 2011 и 2017 гг. Отбор проб в 1961 г. осуществлялся через 10 см до глубины 100 см, в остальные годы – в основном до 50 см (табл. 4).

Сопоставим расчетные величины объемной массы в уплотненных 0,5-метровом и 1-метровом верхних слоях осушенной торфяной залежи на осадочных площадках с фактическими. Расчетные ве-

личины объемной массы определим путем умножения ее фактических величин в слое в начале рассматриваемого периода на коэффициент сжатия в конце этого периода. При этом рассмотрим два варианта определения коэффициента сжатия в начальных (1961 г.) 0,5-метровом и 1-метровом верхних слоях торфа.

Первый вариант предусматривает применение коэффициентов сжатия, полученных путем отношения начальной толщины торфяной залежи (мощностью 0,5 или 1,0 м) к ее толщине на дату отбора проб. Во втором варианте используются коэффициенты сжатия на конец периода между смежными отборами.

При расчетах первого варианта используем следующую зависимость

$$a_{p1} = a_{\phi i} K_{1сж.}, \quad (2)$$

где a_{p1} – расчетная величина объемной массы в уплотненном слое торфяной залежи на конец рассматриваемого периода, г/см³;

$a_{\phi i}$ – фактическая величина объемной массы в слое на начало рассматриваемого периода (1961 г.), г/см³;

$$K_{1сж.} = \frac{0,5}{h_i} \text{ – коэффициент сжатия (уплотнения)}$$

при расчетах для 0,5-метрового начального слоя торфяной залежи;

$$K_{1сж.} = \frac{1,0}{h_i} \text{ – коэффициент сжатия (уплотнения)}$$

при расчетах для 1-метрового начального слоя торфяной залежи;

h_i – толщина уплотненного слоя торфяной залежи в конце рассматриваемого периода, определенная по данным инструментальных измерений (нивелирования) отметок дневной поверхности и соответствующих осадочных реперов, установленных на глубинах 0,5 и 1,0 м.

При расчетах второго варианта используем зависимость:

$$a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж.}, \quad (3)$$

где a_{p2} – расчетная величина объемной массы в слое на конец периода между смежными отборами, г/см³;

$a_{\phi i-1}$ – фактическая величина объемной массы в слое на начало периода между смежными отборами проб, г/см³;

$K_{2сж.}$ – коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб, определяемыми по формуле:

$$K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}, \quad (4)$$

где h_i – толщина слоя торфа, определенная по данным инструментальных измерений на начало периода между смежными отборами, м;

h_{i+1} – толщина слоя торфа, определенная по данным инструментальных измерений на конец периода между смежными отборами, м.

Таблица 1 – Изменение толщин слоя торфа и величин коэффициентов сжатия на площадке № 2 ($H_m = 180$ см) по изучению осадки торфяной залежи, расположенной в 14 м от бровки канала Б-1-4 (ПК-10) мелиоративной системы «ПОМС»

Продолжительность периода от начала осушения, лет	Глубины, см															
	0–20		20–50		50–100		100–120		120–150		0–50		0–100		0–150	
0	Толщина слоя h_i , м	0,200	Толщина слоя h_i , м	0,300	Толщина слоя h_i , м	0,500	Толщина слоя h_i , м	0,200	Толщина слоя h_i , м	0,300	Толщина слоя h_i , м	0,500	Толщина слоя h_i , м	1,000	Толщина слоя h_i , м	1,500
10	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,071	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,110	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,100	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,179	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,271	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,319	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,719	Уменьшение толщины слоя Δh , м	1,169
20	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,55	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,58	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,25	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,10	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,12	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,07	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,11	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,28
30	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,010	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,040	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,049	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,170	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,254	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,269	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,620	Уменьшение толщины слоя Δh , м	1,044
40	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,08	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,27	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,14	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,10	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,06	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,06	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,06	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,08
50	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,008	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,018	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,033	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,160	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,245	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,243	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,561	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,966
56	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,07	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,14	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,04	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,04	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,00	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,05	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,07	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,07
0–56	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,041	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,001	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,012	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,160	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,000	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,000	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,054	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,066
	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,43	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,02	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,05	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,05	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,00	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,01	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,10	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,05
	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,021	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,002	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,014	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,160	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,230	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,178	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,037	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,040
	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	2,72	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,01	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,00	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,22	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,04						
	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,031	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,001	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,003	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,159	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,230	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,146	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,035	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,036
	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	11,11	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	2,34	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,73	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,26	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,30	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	3,42	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	2,30	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	1,82
	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,182	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,172	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,211	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,041	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,070	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,354	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,565	Уменьшение толщины слоя Δh , м	0,676

Таблица 2 – Изменение толщин слоя торфа и величин коэффициентов сжатия на площадке № 3 ($H_{\text{г}} = 200 \text{ см}$) по изучению осадки торфяной залежи, расположенной в 54 м от бровки канала Б-1-4 (ПК-10) меллоративной системы «ПОМС»

Продолжительность периода от начала осушения, лет	Глубины, см																							
	0–20			20–50			50–100			100–120			120–150			0–50			0–100			0–150		
	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщин слоя Δh_i , м	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$
0	0,200	0,070	1,53	0,300	0,070	1,30	0,500	0,140	1,39	0,200	0,035	1,21	0,300	0,015	1,05	0,500	0,140	1,39	1,000	0,280	1,39	1,500	0,330	1,28
10	0,130	0,005	1,04	0,230	0,015	1,07	0,360	0,041	1,13	0,165	0,004	1,02	0,285	0,031	1,12	0,360	0,020	1,06	0,720	0,061	1,09	1,170	0,096	1,09
20	0,125	0,014	1,13	0,215	0,031	1,17	0,319	0,027	1,09	0,161	0,003	1,02	0,254	0,012	1,05	0,340	0,045	1,15	0,659	0,072	1,12	1,074	0,087	1,09
30	0,111	0,021	1,23	0,184	0,029	1,19	0,292	0,011	1,07	0,158	0,018	1,03	0,242	0,002	1,01	0,295	0,050	1,20	0,587	0,061	1,12	0,987	0,081	1,09
40	0,090	0,051	2,31	0,155	0,015	1,11	0,281	0,001	1,08	0,140	0,010	1,02	0,240	0,000	1,00	0,245	0,066	1,37	0,526	0,067	1,15	0,906	0,077	1,09
50	0,039	0,014	1,56	0,140	0,015	1,04	0,280	0,004	1,01	0,130	0,000	1,00	0,240	0,000	1,00	0,179	0,019	1,12	0,459	0,023	1,05	0,829	0,023	1,03
56	0,025			0,135			0,276			0,130			0,240			0,160			0,436			0,806		
0–56		0,175	8,00		0,175	2,22		0,224	1,81		0,070	1,54		0,060	1,25		0,340	3,12		0,564	2,29		0,694	1,86

Таблица 3 – Изменение толщин слоя торфа и величин коэффициентов сжатия на площадке № 4 ($H_m = 150$ см) по изучению осадки торфяной залежи, расположенной в 100 м от бровки канала Б-1-4 (ПК-10) мелиоративной системы «ПОМС»

Продолжительность периода от начала осушения, лет	Глубины, см															
	0–20		20–50		50–100		100–120		120–150		0–50		0–100		0–150	
	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м	Толщина слоя h_i , м	Уменьшение толщины слоя Δh , м
	Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$		Коэффициент сжатия $K = h_i/h_{i+n}$	
0	0,200	0,024	0,300	0,066	0,500	0,131	0,200	0,039	0,300	0,017	0,500	0,090	1,000	0,221	1,500	0,277
10	0,176	0,035	0,234	0,044	0,369	0,062	0,161	0,001	0,283	0,007	0,410	0,079	0,779	0,141	1,223	0,149
20	0,141	0,030	0,190	0,032	0,307	0,045	0,160	0,003	0,276	0,010	0,331	0,062	0,638	0,107	1,074	0,120
30	0,111	0,040	0,158	0,016	0,262	0,009	0,157	0,010	0,266	0,002	0,269	0,056	0,531	0,065	0,954	0,077
40	0,071	0,036	0,142	0,006	0,253	0,001	0,147	0,000	0,264	0,002	0,213	0,042	0,466	0,043	0,877	0,045
50	0,035	0,005	0,136	0,000	0,252	0,000	0,147	0,000	0,262	0,002	0,171	0,005	0,423	0,003	0,832	0,007
56	0,030	0,170	0,136	0,164	0,252	0,248	0,147	0,053	0,260	0,040	0,166	0,005	0,420	0,003	0,825	0,007
0–56		6,67		2,21		1,98		1,36		1,15		3,01		2,38		1,82

Таблица 4 – Величины объемной массы торфа на площадках по изучению осадки торфяной залежи на мелиоративной системе «ПОМС», г/см³

Глу-бина отбора проб, см	Годы																													
	1961				1987				1993				2004				2009				2011				2017					
	2		3		4		2		3		4		2		3		4		2		3		4		2		3		4	
10	0,13	0,14	0,14	0,14	0,26	0,25	0,22	0,27	0,26	0,25	0,25	0,28	0,29	0,29	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
20	0,12	0,13	0,13	0,21	0,26	0,24	0,21	0,26	0,25	0,24	0,28	0,29	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35
30	0,12	0,12	0,12	0,20	0,19	0,20	0,21	0,21	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,26
40	0,12	0,12	0,11	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24
50	0,12	0,12	0,11	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24
60	0,12	0,12	0,11	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
70	0,12	0,12	0,11	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
80	0,12	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
90	0,11	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
100	0,11	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Примечание: (0,120)–(0,360) – средняя величина объемной массы в уплотненном верхнем 0,5-метровом слое торфяной залежи; (0,118)–(0,302) – средняя величина объемной массы в уплотненном верхнем 1-метровом слое торфяной залежи.

Сопоставление расчетных величин объемной массы с фактическими для исходного верхнего 0,5-метрового слоя осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см с применением для расчета коэффициентов сжатия $K_{1сж.}$ и $K_{2сж.}$ показало, что среднеквадратическое отклонение расчетных величин от фактических составляет в первом случае 0,011–0,028 г/см³, во втором – 0,010–0,023 г/см³ (табл. 5, 7, 9).

Сравнивая расчетные величины объемной массы с фактическими для исходного верхнего 1-метрового слоя торфа осушенной торфяной залежи мощностью 150–200 см с использованием для расчета коэффициентов сжатия $K_{1сж.}$ и $K_{2сж.}$, приходим к выводу, что среднеквадратическое отклонение расчетных величин от фактических при применении $K_{1сж.}$ составляет 0,016–0,019 г/см³, а при $K_{2сж.}$ – 0,008–0,014 г/см³ (табл. 6, 8, 10).

Таким образом, использование при расчетах величин объемной массы на начало рассматриваемых периодов и величин коэффициентов сжатия на конец этих периодов позволяет определить показатель уплотнения торфяной залежи (объемную массу) с ошибкой, не превышающей в среднем 0,021 г/см³.

Пользуясь частными выражениями формулы (2) и зависимостями коэффициентов сжатия $K_{1сж.}$ от давности осушения (n) для начальных верхних 0,5-метрового и 1-метрового слоев осушенной торфяной залежи, графики которых приведены на рис. 1 и 2, определим время ее перехода в зону постторфяных почв (при $a = 0,6$ г/см³) [4]. Результаты расчетов приведены в табл. 11.

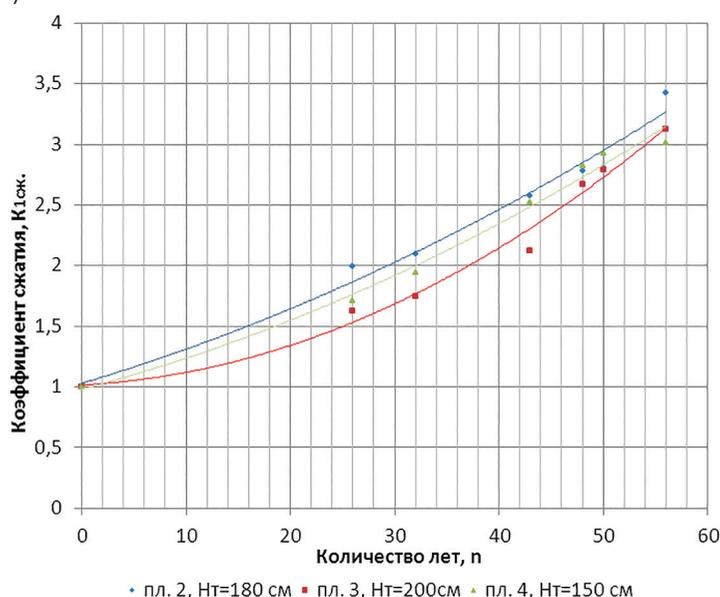


Рисунок 1 – График зависимости коэффициентов сжатия верхнего 0,5-метрового слоя торфяной залежи от давности осушения на осадочных площадках мелиоративной системы «ПОМС»

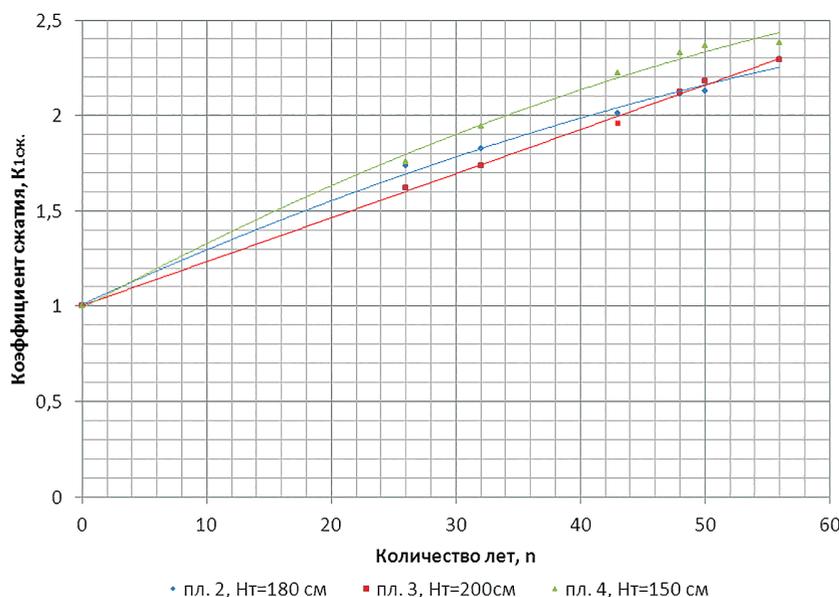


Рисунок 2 – График зависимости коэффициентов сжатия верхнего 1-метрового слоя торфяной залежи от давности осушения на осадочных площадках мелиоративной системы «ПОМС»

Таблица 5 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 0,5-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 2 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см ³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы, h_i , м	0,500	0,251	0,239	0,194	0,180	0,178	0,146	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{0,5}{h_i}$	1,000	1,992	2,092	2,577	2,778	2,809	3,425	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,992	1,050	1,232	1,078	1,011	1,219	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое h_i , $a_{\phi i}$, г/см ³	0,120	0,260	0,265	0,285	0,320	0,340	0,360	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж.}$, г/см ³	0,120	0,239	0,250	0,309	0,333	0,337	0,411	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж.}$, г/см ³		0,239	0,273	0,0,326	0,307	0,303	0,378	–
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi i}$		-0,021	-0,015	+0,024	+0,013	-0,003	+0,051	0,028
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi i}$		-0,021	+0,008	+0,041	+0,007	-0,007	+0,018	0,023

Таблица 6 - Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 1-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 2 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы h_i , м	1,000	0,576	0,548	0,497	0,474	0,470	0,435	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж} = \frac{0,5}{h_i}$	1,000	1,736	1,825	2,012	2,110	2,128	2,299	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,736	1,051	1,103	1,049	1,009	1,080	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое h_i , $a_{\phi i}$, г/см³	0,118	0,214	0,222	0,238	0,265	0,280	0,295	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж}$, г/см³	0,118	0,205	0,215	0,237	0,249	0,251	0,271	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж}$, г/см³		0,205	0,225	0,245	0,250	0,259	0,283	–
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi i}$		-0,009	-0,007	-0,001	-0,016	-0,029	-0,024	0,019
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi i}$		-0,009	+0,003	+0,007	-0,015	-0,021	-0,012	0,014

Таблица 7 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 0,5-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 3 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы								Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см ³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017		
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы h_i , м	0,500	0,308	0,286	0,226	0,187	0,179	160	–	
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{0,5}{h_i}$	1,000	1,623	1,748	2,212	2,674	2,793	3,125	–	
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$	1,623	1,077	1,265	1,208	1,045	1,119	–	–	
4	Фактическая величина объемной массы в слое h_i , $a_{фи}$, г/см ³	0,126	0,227	0,237	0,275	0,320	0,340	0,360	–	
5	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{р1} = 0,120 K_{1сж.}$, г/см ³	0,126	0,204	0,220	0,279	0,337	0,352	0,394	–	
6	Расчетная величина объемного веса в слое h_i , $a_{р2} = a_{фи-1} K_{2сж.}$, г/см ³		0,204	0,244	0,300	0,332	0,334	0,355	–	
7	Отклонения $a_{р1} - a_{фи}$		-0,023	-0,017	+0,004	+0,017	+0,012	+0,034	0,022	
8	Отклонения $a_{р2} - a_{фи}$		-0,023	+0,007	+0,025	+0,012	-0,006	-0,005	0,017	

Таблица 8 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 1-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 3 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п/п.	Показатели	Годы								Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см ³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017		
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы h_p , м	1,000	0,617	0,576	0,511	0,471	0,459	0,436	–	
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{h_i}{0,5 h_i}$	1,000	1,621	1,736	1,957	2,123	2,179	2,294	–	
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,621	1,071	1,127	1,085	1,026	1,052	–	
4	Фактическая величина объемной массы в слое h_p , a_{ϕ} , г/см ³	0,123	0,206	0,216	0,240	0,280	0,288	0,302	–	
5	Расчетная величина объемной массы в слое h_p , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж.}$, г/см ³	0,123	0,199	0,214	0,241	0,261	0,268	0,282	–	
6	Расчетная величина объемной массы в слое h_p , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж.}$, г/см ³		0,199	0,221	0,243	0,260	0,287	0,303	–	
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi}$		-0,007	-0,002	+0,001	-0,019	-0,020	-0,020	0,016	
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi}$		-0,007	+0,005	+0,003	-0,020	-0,001	+0,001	0,010	

Таблица 9 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 0,5-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 4 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п.п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см ³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы h_i , м	0,500	0,292	0,258	0,198	0,177	0,171	0,166	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора $0,5 K_{1сж} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$	1,000	1,712	1,938	2,525	2,825	2,924	3,012	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,712	1,132	1,303	1,119	1,035	1,030	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое h_i , $a_{\phi i}$, г/см ³	0,122	0,210	0,237	0,290	0,330	0,350	0,360	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{p1} = 0,120 K_{1сж}$, г/см ³	0,122	0,209	0,236	0,308	0,345	0,357	0,367	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое h_i , $a_{p2} = a_{\phi i-1} K_{2сж}$, г/см ³		0,209	0,238	0,309	0,325	0,342	0,350	–
7	Отклонения $a_{p1} - a_{\phi i}$		-0,001	-0,001	+0,018	+0,015	+0,007	+0,007	0,011
8	Отклонения $a_{p2} - a_{\phi i}$		-0,001	+0,001	+0,019	-0,005	-0,008	-0,010	0,010

Таблица 10 – Определение среднеквадратического отклонения расчетных величин объемной массы от фактических в верхнем 1-метровом слое осушенной торфяной залежи на площадке № 4 по изучению осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» за период с 1961 по 2017 годы

№ п.п.	Показатели	Годы							Среднеквадратическое отклонение расчетных величин объемной массы от фактических, г/см ³
		1961	1987	1993	2004	2009	2011	2017	
1	Толщина слоя на дату отбора проб почвы h_p , м	1,000	0,569	0,515	0,450	0,429	0,423	0,420	–
2	Коэффициенты сжатия слоя, полученные путем отношения начальной толщины к толщине на дату отбора проб почвы $K_{1сж.} = \frac{h_i}{0,5 h_i}$	1,000	1,757	1,942	2,222	2,331	2,364	2,380	–
3	Коэффициенты сжатия слоя на конец периода между смежными отборами проб почвы $K_{2сж.} = \frac{h_i}{h_{i+1}}$		1,757	1,105	1,144	1,049	1,014	1,007	–
4	Фактическая величина объемной массы в слое h_p , $a_{\text{фп}}$, г/см ³	0,113	0,200	0,220	0,257	0,277	0,287	0,302	–
5	Расчетная величина объемной массы в слое h_p , $a_{\text{рп}} = 0,120 K_{1сж.}$, г/см ³	0,113	0,199	0,219	0,251	0,263	0,267	0,269	–
6	Расчетная величина объемной массы в слое h_p , $a_{\text{р2}} = a_{\text{фп-1}} K_{2сж.}$, г/см ³		0,193	0,221	0,252	0,270	0,281	0,289	–
7	Отклонения $a_{\text{р1}} - a_{\text{фп}}$		-0,001	-0,001	-0,006	-0,014	-0,020	-0,033	0,019
8	Отклонения $a_{\text{р2}} - a_{\text{фп}}$		-0,007	+0,001	-0,005	-0,007	-0,006	-0,013	0,008

Таблица 11 – Расчеты времени перехода верхних слоев осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв

№ площадки	H_T , см	Коэффициенты сжатия $K_{1сж.}$ при $a = 0,6 \text{ г/см}^3$	Расчетные зависимости	R^2	Расчетное количество лет, n
Начальный 0,5-метровый слой торфяной залежи					
2	180	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,120} = 5,00$	$K_{1сж.} = 0,0003n^2 + 0,0256n + 1,0282$	0,981	80
3	200	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,126} = 4,76$	$K_{1сж.} = 0,0006n^2 + 0,0043n + 1,0150$	0,984	79
4	150	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,122} = 4,92$	$K_{1сж.} = 0,0003n^2 + 0,0227n + 0,9792$	0,979	83
Начальный 1-метровый слой торфяной залежи					
2	180	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,118} = 5,08$	$K_{1сж.} = 0,0236n + 1,0$	0,979	173
3	200	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,123} = 4,88$	$K_{1сж.} = 0,0232n + 1,0$	0,998	167
4	150	$K_{1сж.} = \frac{0,6}{0,113} = 5,31$	$K_{1сж.} = 0,0271n + 1,0$	0,979	159

Из табл. 11 следует, что переход исходного верхнего 0,5-метрового слоя осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв произойдет через 79–83 года после проведения осушения, а исходного верхнего 1-метрового слоя – через 159–173 года при мощности торфяной залежи, до осушения равной 150–200 см.

Выводы

1. С течением времени происходит уплотнение осушенной торфяной залежи. Об этом свидетельствуют уменьшение толщины и увеличение величины объемной массы осушенного торфяного слоя.

2. Процессы уменьшения толщины и увеличения величины объемной массы происходят более интенсивно в верхних слоях осушенной торфяной залежи.

3. Применение предложенных методик для определения прогнозных величин объемной массы в уплотненных верхних 0,5-метровом и 1-метровом слоях торфяной залежи с использованием ее величин на начало расчетного периода и величин коэффициентов сжатия позволяет определить расчетную величину объемной массы с ошибкой, не превышающей $0,021 \text{ г/см}^3$.

4. Расчеты по полученным в результате исследований зависимостям показывают, что переход верхнего 0,5-метрового слоя осушенной торфяной залежи в зону постторфяных почв (объемная масса $0,6 \text{ г/см}^3$) произойдет через 79–83 года после осушения, а верхнего 1-метрового – через 159–173 года при исходной (до осушения) мощности торфяной залежи 150–200 см.

Библиографический список

1. Кушнир, Н. В. Осадка торфа под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования / Н. В. Кушнир, И. К. Библиба // Рациональное использование мелиорированных земель. – Минск, 1988. – С. 32-36.
2. Лихацевич, А. П. Закономерности осадки торфяной залежи после осушения / А. П. Лихацевич, Н. М. Авраменко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2015. – № 4. – С. 61-71.
3. Авраменко, Н. М. Экспериментальные исследования осадки торфа на мелиоративной системе «ПОМС» Лунинецкого района / Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2018. – № 4 (86). – С. 50-62.
4. Авраменко, Н. М. Трансформация осушенных торфяных почв Полесья / Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2017. – № 4 (82). – С. 12-15.