

УДК 631.6:[631.445.12:544.77.052.5]

А. П. ЛИХАЦЕВИЧ¹, Н. М. АВРАМЕНКО²

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОСАДКИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ПОСЛЕ ОСУШЕНИЯ

¹Институт мелиорации, Минск, Беларусь, e-mail: niimel@mail.ru

²Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства,
пос. Полесский, Лунинецкий р-н, Брестская обл., Беларусь, e-mail: posmzil@mail.ru

Впервые предложена и апробирована математическая модель осадки торфяной залежи после осушения и сельскохозяйственного использования. Справедливость предложенной модели, обобщающей две стадии процесса осадки, подтверждается высокими статистическими показателями согласования теоретической кривой и опытных точек.
Ключевые слова: торфяной слой, осушение, осадка, долговечность торфа, модель осадки

A. P. LIKHATSEVICH¹, N. M. AVRAMENKO²

REGULARITIES OF PEAT DEPOSIT SETTLEMENT AFTER DRAINAGE

¹Institute for Land Reclamation, Minsk, Belarus, e-mail: niimel@mail.ru

²Polesian Experimental Station of Land Reclamation and Grassland Farming,
Belarus, e-mail: posmzil@mail.ru

Mathematical model of settlement of peat deposit after drainage has been proposed and tested. This model integrates two stages of settlement process, and its efficiency is confirmed by high statistical indicators of coordination of theoretical curve and experimental points.

Keywords: peat layer, drainage, settlement, peat longevity, model of settlement.

Введение. Изучение процесса трансформации свойств осушенной торфяной залежи имеет многолетнюю историю [1–6 и др.]. Однако до настоящего времени не предложено зависимости, обобщающей результаты наблюдений за осадкой торфяного слоя; все разработанные расчетные формулы носят сугубо локальный, эмпирический характер, не позволяющий использовать их в разных условиях с экстраполяцией на достаточно продолжительный период. Основной причиной тому является, прежде всего, относительная непродолжительность периодов наблюдений за процессом изменения физических свойств осушенной торфяной залежи. Известно, что этот процесс может длиться десятки и сотни лет с разной интенсивностью, зависящей от исходной мощности и свойств торфа (до осушения), от степени (нормы) осушения и от интенсивности антропогенного воздействия на торф после осушения.

Понимая ограниченность срока наблюдений, авторы исследований при обобщении полученного материала ограничивались в основном ориентировочным прогнозом срока стабилизации процесса осадки, давая рекомендации по ее учету при строительстве и реконструкции осушительной сети. Указывая на постоянно протекающий процесс трансформации органического вещества торфа в слое аэрации, исследователи также оценивали продолжительность полной «сработки» торфяного слоя, в конце которой он прекращает существование как разновидность почвы. Основными показателями, определяющими эту продолжительность для сельскохозяйственных земель, считали исходную мощность торфяной залежи до начала ее осушения, глубину понижения уровня грунтовых вод и направление сельскохозяйственного использования торфяной почвы. Например, А. И. Мурашко и А. С. Бут-Гусаим ограничивали долговечность осушенной двухметровой торфяной залежи 200–250 годами. В свою очередь, по расчетам С. Г. Скоропанова,

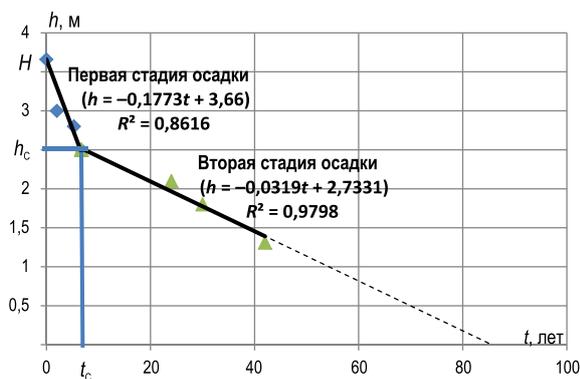


Рис. 1. Осадка осушенной торфяно-болотной почвы Флориды (США), по данным Р. Эллисон [2] (штрихами показана прогнозная экстраполяция линейной зависимости, проведенной по четырем опытными точкам)

долговечность глубокозалежных торфяников Беларуси при луговом использовании может достигать 400–450 лет [2, 3].

Столь существенные расхождения в результатах прогнозов можно объяснить различием факторов, обуславливающих интенсивность и продолжительность протекания процесса осадки осушенной торфяной залежи в разных условиях. К основным факторам, согласно В. Н. Грамматину, который обобщил результаты собственных опытов и данные исследований А. Д. Дубаха, А. Д. Брудастова, Х. А. Писарькова, А. Д. Панадиади, С. А. Сидякина и др., относятся:

1) глубина понижения уровня грунтовых вод (чем она больше, тем значительнее осадка);

2) исходная мощность торфяной залежи

(большая мощность дает большую осадку, но в процентном отношении она может быть меньше на глубоком болоте, где под водой остается значительная часть залежи);

3) степень разложения торфа (чем сильнее разложение, тем плотнее может спрессовываться залежь);

4) фактор времени, который предложено делить на две стадии: первая стадия процесса осадки связана в основном с действием сил тяжести осушенной залежи, возникших после сброса воды, в которой торф находился во взвешенном состоянии, а вторая стадия определяется действием сил, продолжающих действовать после завершения первой стадии осадки и направленных на изменение физических свойств и массы органического вещества торфа в слое аэрации (эрозия, разложение, уплотнение, минерализация), и может продолжаться неопределенно долго [1].

Схематично процесс осадки осушенной торфяной залежи показан на рис. 1, данные для которого позаимствованы нами из монографии С. Г. Скоропанова [2, с. 165]. Расположение опытных точек на рис. 1 подтверждает обоснованность разделения процесса осадки торфа на две стадии: первая в данном случае имеет продолжительность около 7 лет (заметим, что В. Н. Грамматин ограничивал ее действие одним годом [1]), вторая продолжается от 7 лет и далее, причем, как показывают исследования Р. Эллисон, в каждой стадии интенсивность осадки представляется приблизительно одинаковой.

Экстраполируя установленную графическим путем закономерность (рис. 1), найдем, что долговечность торфяников Флориды (США) с исходной мощностью торфа более 3,5 м составляет всего около 83 лет. Однако не следует принимать во внимание достаточно высокие статистические показатели прямых, аппроксимирующих на рис. 1 опытные точки, и не следует считать данный способ анализа универсальным. Подобная интерпретация является весьма грубой, требующей более тщательной проверки, а тем более не может быть распространена на другие осушенные болотные массивы. Не случайно полученный здесь вывод кардинально отличается от вышеприведенных прогнозов С. Г. Скоропанова, А. И. Мурашко и А. С. Бут-Гусаима. Ясно, что при анализе процесса осадки торфа необходимо использовать более обоснованные предпосылки, рассмотрению которых и посвящена данная статья.

Материалы и методы исследования. На мелиорированном торфяном массиве Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗиЛ) Лунинецкого района Брестской области для изучения общей и послойной осадки торфа в период строительства осушительной сети (1960 г.) по инициативе академика С. Г. Скоропанова были заложены стационарные опыты на огороженных площадках с различной мощностью торфяной залежи (100, 150 и 200 см). Норма осушения за 50-летний период наблюдений колебалась в среднем в пределах 0,8–1,4 м.

Площадки расположены на расстоянии 20, 50, и 100 м от канала Б-1-4 (пикет 10). На каждой площадке были установлены осадочные реперы (металлические диски) на разных глуби-

нах. При мощности торфа 200 см осадочные реперы установлены на глубинах 20 см, 50, 100, 120 и 150 см от поверхности [4]. Почву на площадках внутри ограды с момента закладки опыта не обрабатывали. Закладку осадочных реперов (дисков) на площадках проводили с помощью ручного лопастного бура. Доработку дна пробуренных в торфяной залежи скважин до нужной глубины выполняли с помощью цилиндрического бура с плоским дном. На дно подготовленной таким образом скважины опускали репер (металлический диск) с вмонтированным в него вертикально стержнем, далее скважины заполняли (с уплотнением до первоначальной плотности) торфом, извлеченным с соответствующей глубины бурения.

Осадочные реперы (диски), диаметр 20 см, изготовленные из листовой стали толщиной 4 мм, устанавливали на заданной глубине горизонтально с вертикально прикрепленными к их поверхности металлическими стержнями диаметром 10 мм, подведенными в момент закладки опыта до поверхности почвы. Изменение положения в вертикальной плоскости каждого диска определяли с установленной периодичностью путем нивелировки верха стержней и поверхности почвы у них. Одновременно проводили нивелировку поверхности почвы, расположенной за границей огороженной площадки и находящейся в сельскохозяйственном использовании (полевой севооборот). Наблюдения за процессом осадки торфяной залежи (нивелировку верха стержней и поверхности почвы) вели сотрудники ПОСМЗиЛ под руководством и при непосредственном участии руководителей отдела мелиорации станции (Н. В. Кушнир, Н. М. Авраменко).

Результаты наблюдений за процессом послойной осадки 2-метровой торфяной залежи на ПОСМЗиЛ приведены на рис. 2.

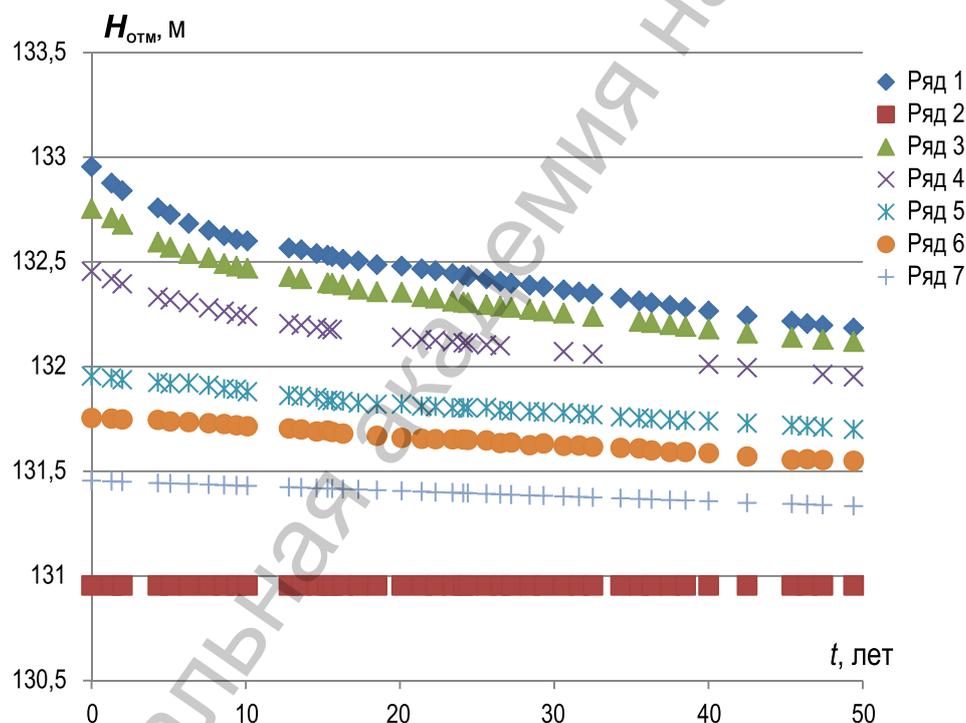


Рис. 2. Результаты наблюдений за процессом осадки торфяной залежи на ПОСМЗиЛ: ряд 1 – отметки поверхности осушенной торфяной залежи на огороженной площадке; ряд 2 – отметки минерального дна осушенного болота; ряды 3–7 – отметки осадочного репера, заложенного на глубине 20 см, 50, 100, 120 и 150 см от поверхности почвы соответственно

Первичный анализ полученного опытного материала, выполненный на рис. 3, подтверждает выводы А. И. Мурашко и А. С. Бут-Гусаима, согласно которым срок «сработки» двухметровой торфяной залежи ПОСМЗиЛ ориентировочно равен 200 годам. Однако, как и прежние выводы, методика и результат данного анализа (направленного здесь на получение наиболее узкой области, в которой сходятся все прямые, продолжающие опытные точки), не могут претендовать на универсальность, следовательно, требуется разработать более обоснованную методику анализа.

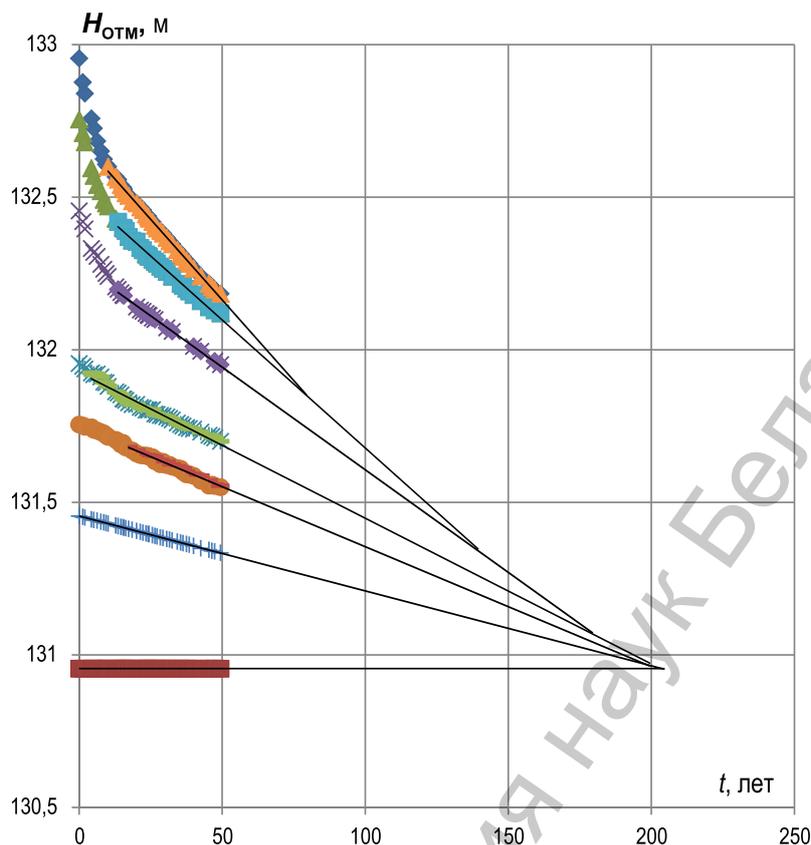


Рис. 3. Линейная экстраполяция результатов наблюдений за процессом осадки торфяной залежи на ПОСМЗил (условные обозначения соответствуют рис. 2)

Результаты и их обсуждение. Обобщение опытных материалов по осадке осушенной торфяной залежи начнем с обоснования математической модели рассматриваемого процесса (А.П. Лихацевич). Прежде всего, рассмотрим фактор времени, который, согласно В. Н. Грамматину [1], в процессе осадки торфа состоит из двух стадий. Первая стадия ограничена в продолжительности и связана в основном с действием сил тяжести, а вторая определяется действием сил, направленных на изменение физических свойств и массы органического вещества торфа в слое аэрации и в нижележащих слоях (эрозия, разложение, минерализация, уплотнение).

Главными физическими факторами, влияющими на процесс осадки осушенной торфяной залежи в этих двух стадиях, являются суммарные силы, определяющие интенсивность осадки, а также масса торфа в рассматриваемом слое, на которую воздействуют данные силы. Представим весь процесс осадки торфа графически сначала в системе двухмерных координат, где горизонтальная ось соответствует фактору времени, а на вертикальной оси фиксируется изменяющаяся во времени мощность рассматриваемого торфяного слоя.

На графике (см. рис. 1) имеем две стационарные точки с координатами $(t=0, h=H)$ и $(t=t_c, h=h_c)$. В соответствии с рис. 1, выделенные стадии процесса осадки торфа связаны между собой одной общей точкой с координатами (t_c, h_c) . Здесь t_c – координата на горизонтальной оси (оси абсцисс t), соответствующая точке завершения первой стадии процесса и являющаяся одновременно точкой начала второй стадии, годы; h_c – координата на вертикальной оси (оси ординат h), соответствующая мощности торфа в конце первой стадии (она же соответствует мощности в начале второй стадии процесса), м.

Рассматривая действие сил, определяющих весь процесс осадки осушенной торфяной залежи в комплексе, в простейшем случае можем записать, соблюдая размерности, что главные физические факторы, управляющие всем процессом, соотносятся следующим образом:

$$\frac{F}{m} = \frac{ah_c}{t_c^2} \left(1 - \frac{t}{t_c}\right) + \frac{bh_c}{t_c^2} = \frac{h_c}{t_c^2} [a(1 - \frac{t}{t_c}) + b]. \quad (1)$$

Здесь F – суммарные силы, определяющие осадку торфа; m – масса торфа в рассматриваемом слое; a – коэффициент, характеризующий интенсивность осадки под действием сил тяжести; b – коэффициент, характеризующий интенсивность осадки по причине изменения физических свойств и массы органического вещества торфа (эрозия, разложение, уплотнение, минерализация). Остальные параметры функции (1) прокомментированы выше. Укажем, что коэффициенты a и b характеризуют местные условия и уравнивают размерности параметров F ($\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$) и t_c (год), принятые в разных системах отсчета для удобства практического пользования математической моделью (1).

Правая часть логически обоснованной зависимости (1) суммарно представляет процессы, происходящие одновременно при осадке торфа, – осадку под действием сил тяжести и осадку по причине изменения физических свойств и массы органического вещества торфа. Причем первое слагаемое относится только к первой стадии, т. е. присутствует в модели до тех пор, пока действие сил тяжести не стабилизируется, т. е. прекратится. А второе слагаемое относится как к первой, так и ко второй стадии, учитывая изменение физических свойств и массы органического вещества торфа в течение всего процесса трансформации осушенной торфяной залежи. Соответственно, ограничениями предложенной модели являются рассмотренные выше граничные и начальные условия:

$$\left. \begin{aligned} h_{(t=t_c)} &= h_c, \\ a_{(t>t_c)} &= 0, \\ h_{(t=0)} &= H \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(H – исходная мощность рассматриваемого слоя торфа перед осушением (см. рис. 1)).

Из выражения (1) математически выводится формула, описывающая процесс уменьшения во времени мощности слоя торфа после его осушения:

$$h = [h_c(1 + \frac{a}{6} + \frac{b}{2}) - V_c t_c] - [\frac{bh_c}{t_c}(1 + \frac{a}{2b}) - V_c]t + \frac{bh_c}{2t_c^2}(1 + \frac{a}{b})t^2 - \frac{ah_c}{6t_c^3}t^3, \quad (3)$$

где V_c – интенсивность сжатия торфяного слоя на границе первой и второй стадий процесса, т. е. в точке с координатами (t_c, h_c) имеет размерность скорости – м/год.

В общем виде зависимость (3) представляет собой полином третьей степени. Однако согласно принятым ограничениям (2), уравнение (3), обобщающее весь процесс осадки торфа после его осушения, можно разделить на две формулы, каждая из которых характеризует свою стадию процесса. При этом учтем, что имеет место связь исходной мощности рассматриваемого слоя торфа, интенсивности сжатия торфяного слоя на границе первой и второй стадий процесса и координат точки, разделяющей эти стадии, и включенных в модель осадки коэффициентов a и b , уравнивающих размерности параметров модели и учитывающих местные условия:

$$H + V_c t_c = h_c(1 + \frac{a}{6} + \frac{b}{2}). \quad (4)$$

Согласно выражению (4), в течение первой стадии процесса осадки, т. е. при $0 \leq t \leq t_c$:

$$h_{(1)} = H - [\frac{bh_c}{t_c}(1 + \frac{a}{2b}) - V_c]t + \frac{bh_c}{2t_c^2}(1 + \frac{a}{b})t^2 - \frac{ah_c}{6t_c^3}t^3, \quad (5)$$

где $h_{(1)}$ – мощность слоя торфа, изменяющаяся в течение первой стадии процесса осадки.

В течение второй стадии процесса осадки торфа, т. е. при $t > t_c$:

$$h_{(2)} = h_c(1 + \frac{b}{2}) - V_c t_c - (\frac{bh_c}{t_c} - V_c)t + \frac{bh_c}{2t_c^2}t^2, \quad (6)$$

где $h_{(2)}$ – мощность слоя торфа, изменяющаяся в течение второй стадии процесса осадки.

Формулу (6) можно привести к виду

$$h_{(2)} = H - \frac{ah_c}{6} + \frac{t}{t_c} [V_c t_c + bh_c(1 - \frac{t}{t_c})]. \quad (7)$$

Таким образом, в течение первой стадии процесса осадки торфа расчетное уравнение имеет вид полинома третьей степени (5), а в течение второй стадии процесса осадки торфа расчетное уравнение превращается в полином второй степени (6), (7).

Проверим полученные теоретически расчетные формулы с использованием приведенных на рис. 1 экспериментальных точек полевого опыта в штате Флорида (США), для чего аппроксимируем опытные точки в течение первой стадии процесса полиномом третьей степени, а в течение второй стадии процесса – полиномом второй степени. Как видим, опытные данные Р. Эллисон почти идеально укладываются в полученную теоретическую схему (рис. 4). Коэффициенты детерминации зависимостей, представленных формулами (5) и (6), в первой и во второй стадиях процесса осадки торфяной залежи близки к единице, т. е. предложенная аппроксимация опытных данных близка к функциональной, что подтверждает высокое качество математической модели рассматриваемого процесса (1) с ограничениями (2).



Рис. 4. Моделирование осадки осушенной торфяно-болотной почвы Флориды (США): ряд 1 – первая стадия осадки торфяной залежи; ЗПС – завершение 1-й стадии процесса осадки; ряд 2 – вторая стадия; X – завершение процесса трансформации органогенного слоя (квадратичная аппроксимация – оптимистичный прогноз; линейная аппроксимация – пессимистичный прогноз, связанный с полным исчезновением торфа)

При изложении результатов осадки торфяного слоя в течение второй стадии процесса используем часто применяемый термин «сработка торфа». Под этим термином мы понимаем изменение физических свойств и массы органического вещества торфа (эрозию, разложение, уплотнение, минерализацию) после завершения первой стадии процесса.

Обратим внимание на то, что опытные точки второй стадии процесса на рис. 4 нами аппроксимированы не только полиномом второй степени (квадратичная аппроксимация), но и прямой (линейная аппроксимация). Линейная аппроксимация второй стадии процесса осадки также является следствием модели (1), если коэффициент b в ней приравнять нулю. Но это возможно только в том случае, если во второй стадии процесса осадки на осушенную торфяную залежь перестают действовать какие-либо силы. Если данное предположение справедливо, можно констатировать, что при осушении торфяной залежи любой мощности рано или поздно, но торф в зоне аэрации прекратит свое существование, т. е. неизбежна его полная сработка (согласно рис. 4, это произойдет через 72 года после начала осушения, что значительно меньше предварительного прогноза по данным рис. 1, равного 83 годам.). Назовем подобный сценарий осадки осушенной торфяной залежи пессимистичным прогнозом.

Соответственно, оптимистичным прогнозом будет являться утверждение, что и в течение второй стадии процесса осадки на осушенную торфяную залежь продолжают действовать силы, вызывающие изменение физических свойств и массы органического вещества торфа (эрозию, разложение,

уплотнение, минерализацию). При справедливости подобного предположения коэффициент b в модели процесса осадки (1) нельзя приравнять к нулю. В этом случае имеет место аппроксимация опытных точек полиномом второй степени (квадратичной функцией). Из этого следует вывод, что со временем органическое вещество торфа консервируется и приобретает свойства, препятствующие его полной минерализации (согласно рис. 4, это может произойти через 76 лет после начала осушения).

Справедливость оптимистичного прогноза в значительной степени подтверждают исследования Э.Н. Шкутова и Л.Н. Лученок, которые изучали состояние и свойства осушенных в разные годы торфяных массивов Белорусского Полесья. Анализируя полученные результаты, Э.Н. Шкутов и Л.Н. Лученок отмечают, что перманентная «деградация торфяных почв, по сути, не является показателем почвенного процесса, связанного с трансформацией самого органического вещества». Этот вывод они подтверждают наблюдениями за зольностью осушенных более 100 лет назад глубоководных торфяников, указывая, что и после столетнего периода сельскохозяйственного использования зольность торфа в пахотном горизонте в последние десятилетия остается неизменной, стабилизируясь на 30 % [6]. Данной зольности, как показывают наши исследования, соответствует объемная масса торфа около $0,35 \text{ г/см}^3$ [5].

Однако, как видно из графиков осадки осушенной торфяной залежи ПОСМЗиЛ, все же нельзя с полной уверенностью утверждать, что аппроксимировать вторую стадию процесса осадки торфа прямой линией не следует. Согласование опытных точек с аппроксимирующими функциями и в том и в другом случае практически совпадает (рис. 5). Вместе с тем отметим, что криволинейность в расположении опытных точек второй стадии процесса осадки может более наглядно проявиться в слоях, мощность которых превышает 1 м, причем только после 60-летнего срока наблюдений, чего мы пока не достигли.

Обратим внимание на седлообразную форму аппроксимирующей кривой в первой стадии процесса осадки для верхнего горизонта торфа. Опытные точки на рис. 5 указывают на некоторое увеличение мощности слоя 0–0,2 м в конце первой стадии процесса осадки. Объяснение подобным фактам приведено у В.Н. Грамматина [1]. Причиной является повышение водности этого периода наблюдений, что приводит к набуханию торфа в рассматриваемом слое от переполнения его влагой атмосферных осадков. Седлообразная форма аппроксимирующей кривой в конце первой стадии процесса осадки торфа имеет место и на рис. 4. Объяснение то же. В целом это свидетельствует о высокой точности предложенной модели (1), обобщающей осадку осушенной торфяной залежи и способной учитывать любые особенности водного режима в годы исследований (выпадающие атмосферные осадки и колебания уровней грунтовых вод).

В заключение приведем пример из результатов обработки данных осадки осушенной торфяной залежи на ПОСМЗиЛ (таблица). Целью вычислений являлось установление параметров модели (1) по опытным точкам, а также прогноз результатов трансформации осушенной торфяной залежи ПОСМЗиЛ на последующий период, основанный на приведенных выше выводах.

Параметры расчетных зависимостей (5), (6) и результаты прогноза послойной осадки осушенной торфяной залежи ПОСМЗиЛ с начальной мощностью торфа 2,0 м

Слой торфа	H , м	V_0 , м/год	T_0 , лет	h_c , м	V_c , м/год	Оптимистичный прогноз			Пессимистичный прогноз
						T_x , лет	T_c , лет	H_c , м	T_x , лет
<i>При отсутствии антропогенного воздействия</i>									
0–0,2	0,2	–0,0143	23,8	0,127	–0,00265	80	–	–	74
0–1,0	1,0	–0,0548	18,2	0,672	–0,00661	148	–	–	124
0–1,2	1,2	–0,0574	16,0	0,839	–0,00703	–	159	0,336	149
0–1,5	1,5	–0,0582	14,8	1,119	–0,00903	–	165	0,487	154
0–2,0	2,0	–0,0607	14,8	1,583	–0,01153	–	191	0,570	165
<i>При использовании в системе полевого севооборота</i>									
0–2,0	2,0	–0,0878	15,1	1,458	–0,0128	167	–	–	135

П р и м е ч а н и е. В таблице приняты следующие обозначения: V_0 – интенсивность осадки (сжатия) торфяного слоя в начале первой стадии процесса осушения, м/год; T_x – прогнозная продолжительность от начала осушения до полной сработки рассматриваемого слоя торфа (при оптимистичном и пессимистичном прогнозах), лет; T_c – прогнозная продолжительность от начала осушения до консервации (полной стабилизации) свойств в рассматриваемом слое торфа (при оптимистичном прогнозе), лет; H_c – остающийся слой торфа после наступления естественной консервации (полной стабилизации) его свойств (при оптимистичном прогнозе), м.

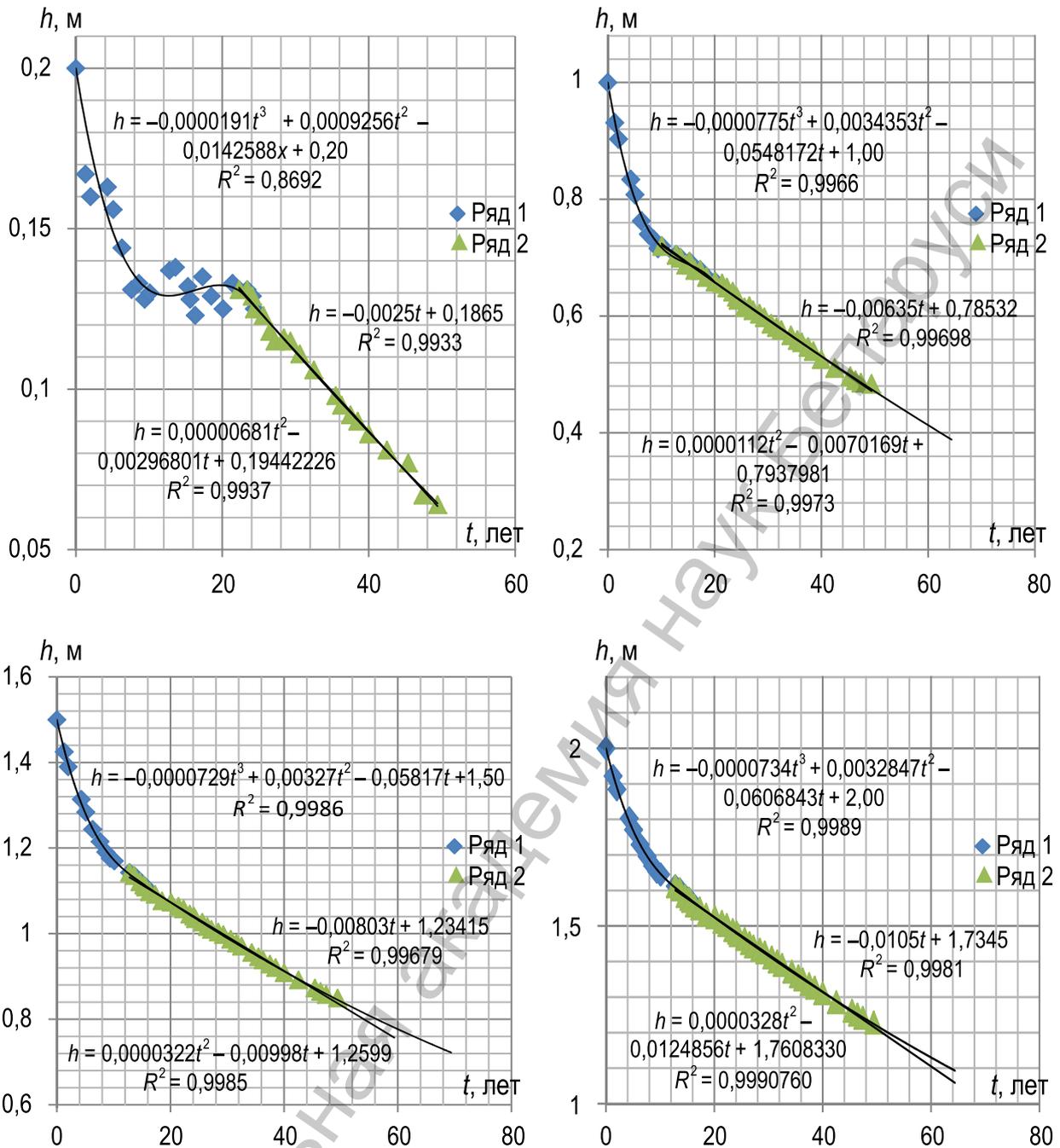


Рис. 5. Графики осадки осушенной торфяной залежи ПОСМЗиЛ по данным осадочных реперов, заложенных на глубинах 0,2; 1,0; 1,5 и 2,0 м: ряд 1 – первая стадия процесса осадки; ряд 2 – вторая стадия процесса осадки

В таблице обозначен новый параметр (V_0) для того, чтобы при последующем анализе следствий, вытекающих из модели (1), выразить эмпирические коэффициенты a и b в трехмерной системе координат, связывающих время (t), изменяющуюся мощность торфяного слоя (h) и интенсивность сжатия торфяного слоя (V), определив эти координаты в двух выделенных опорных точках. Первая представляет начало первой стадии процесса осадки, т. е. имеет координаты $(0, H, V_0)$, а вторая, соответственно, связана с концом первой стадии процесса осадки, являющимся началом второй его стадии, т. е. (t_c, h_c, V_c) . В расчетных уравнениях (5)–(7) эмпирические коэффициенты a и b будут представлены следующими функциями:

$$a = a(H, V_0, t_c, h_c, V_c); \quad b = b(H, V_0, t_c, h_c, V_c).$$

Последнее свидетельствует о том, что в принципе расчетные зависимости (5)–(7) можно освободить от эмпирических показателей. Каждый параметр в них имеет четкий физический смысл, что также свидетельствует в пользу предложенной модели (1) для расчета осадки осушенной торфяной залежи.

Полученные результаты вычислений весьма показательны (таблица). Во-первых, несложно заметить, что параметры полученных нами расчетных формул (3)–(7), представленные в таблице относительно рассматриваемого объекта ПОСМЗиЛ, взаимосвязаны. Во-вторых, выделяется граница, условно проводимая между мелко- и среднезалежным торфами. При исходной мощности торфа 1 м и менее его исчезновение после осушения предопределено даже при отсутствии антропогенного воздействия. Для торфа с большей исходной мощностью (1,2 м и более) возможна консервация (при оптимистичном прогнозе) физических свойств органического слоя, оставшегося после осадки и завершения уплотнения по истечении около 160 лет и более в остаточном слое, превышающем по мощности 0,3 м. В-третьих, очевидным становится факт полной сработки 2-метровой торфяной залежи ПОСМЗиЛ при использовании после осушения в системе полевого севооборота. Причем продолжительность сработки 2-метрового торфяного слоя в зависимости от реальности прогноза колеблется ориентировочно от 135 до 167 лет (рис. 6).

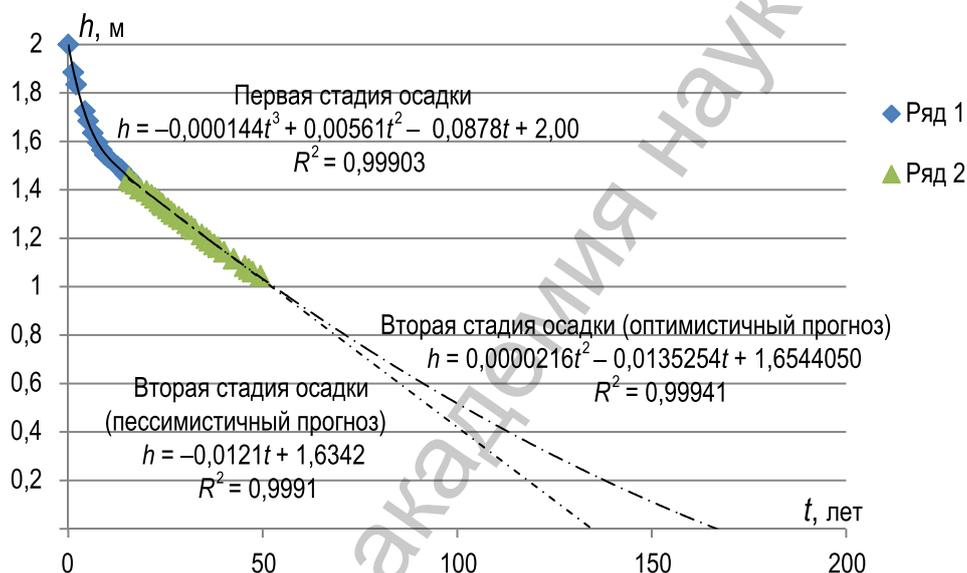


Рис. 6. Осадка осушенной торфяной залежи ПОСМЗиЛ с исходной мощностью 2 м, используемой после осушения в системе полевого севооборота: ряд 1 – опытные точки первой стадии процесса осадки; ряд 2 – опытные точки второй стадии процесса осадки

Сделанные выводы основаны на расчетах, выполненных по материалам многолетних наблюдений за осадкой осушенной торфяной залежи ПОСМЗиЛ с использованием модели (1) с ограничениями (2). Справедливость предложенной модели осадки осушенной торфяной залежи подтверждается высокими статистическими показателями, практически полным совпадением теоретических кривых с опытными точками (рис. 4–6).

Приведенные выше выводы являются предварительными и не исчерпывают всей информации, вытекающей из материалов обработки опытного материала (ограничения определяются допустимым объемом статьи), в будущем предстоит достаточно большая работа по обобщению и представлению полученных результатов, но основной вывод состоит в том, что эксперимент на мелиорированном торфяном массиве ПОСМЗиЛ по изучению общей и послойной осадки торфа следует продолжать. Только после доведения опыта до прогнозных сроков полной сработки осушенной торфяной залежи, используемой в сельскохозяйственном производстве, можно будет с уверенностью делать окончательные заключения о закономерностях трансформации органического вещества торфа после его осушения.

Выводы

1. Разработана и апробирована на опытных данных различных авторов математическая модель осадки осушенной торфяной залежи. Справедливость предложенной модели, обобщающей две стадии процесса осадки, подтверждается очень высокими статистическими показателями согласования теоретической кривой и опытных точек.

2. По причине ограниченности срока наблюдений на ПОСМЗиЛ представленная модель расчета последствий второй стадии процесса осадки осушенной торфяной залежи пока имеет два варианта (квадратичная и линейная аппроксимации). Для подтверждения справедливости какого-либо из двух выделенных сценариев процесса требуется продолжать эксперимент на мелиорированном торфяном массиве ПОСМЗиЛ по изучению общей и послойной осадки торфа.

Список использованных источников

1. *Грамматин, В.Н.* Осадка болот при осушении для сельскохозяйственных целей / В.Н. Грамматин // Материалы по поднятию производительности земель посредством мелиорации. Вып. IX. Гидротехнический сборник. – Л., 1939. – С. 39–60.
2. *Скоропанов, С.Г.* Освоение и использование торфяно-болотных почв / С.Г. Скоропанов. – Минск: Изд-во АСХН БССР, 1961. – 250 с.
3. *Мурашко, А.И.* Расчеты долговечности торфяно-болотных почв / А.И. Мурашко, А.С. Бут-Гусаим // Мелиорация и водное хозяйство. – Минск, 1976. – С. 15–18.
4. *Кушнир, Н.В.* Осадка торфа под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования / Н.В. Кушнир, И.К. Билиба // Рациональное использование мелиорированных земель. – Минск, 1988. – С. 32–36.
5. *Лихацевич, А.П.* Изменение свойств маломощной торфяной почвы в процессе многолетнего сельскохозяйственного использования / А.П. Лихацевич, Н.М. Авраменко, В.В. Ткач // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2011. – №2. – С. 60–65.
6. *Шкутов, Э.Н.* Эволюция свойств осушенных торфяных почв Белорусского Полесья и их плодородие / Э.Н. Шкутов, Л.Н. Лученок // Мелиорация. – 2011. – №1(65). – С. 137–147.

Поступила в редакцию 08.07.2015