

Выборочная инвентаризация объектов лесомелиорации (обследованная площадь – 1893,9 тыс. га), проведенная в 1999–2000 гг., показала, что наибольшая часть мелиорированных земель приходится на минеральные гидроморфные и оторфованные площади (43,4 %). На низинных торфяных месторождениях располагается 27,1 %, на переходных – 20,9 % от всей обследованной территории. Установлено, что большинство мелиоративных систем находится в неудовлетворительном состоянии.

Исходя из современного развития производительных сил страны и состояния изученности, по основным зонам лесосушения установлены показатели наиболее целесообразной площади осушения болот и заболоченных лесов. Так, признано не осушать их в областях, краях и автономных республиках, где их площадь не превышает 10 % (Воронежская, Ивановская, Калужская, Орловская области и др.), а также не осушать более 70 % имеющихся заболоченных лесных земель. В областях, где лесная мелиорация практически закончена, объем охвата ею территории составляет 50...61 % (Владимирская, Московская, Рязанская области) [1]. Положительные и отрицательные моменты лесомелиорации обсуждаются и в других странах [16–18].

Цель исследований заключалась в оценке эффективности лесомелиорации на олиготрофном и эвтрофном болотах на основе гидрологического и газового режима. Объектами для проведения исследований послужили «5 участок Васюганского болота» олиготрофного типа и болото «Таган» эвтрофного типа, расположенными в южно-таежной и лесостепной зонах Западной Сибири.

Объект «5 Участок Васюганского болота» – это часть юго-восточных отрогов Васюганского болота. Общая площадь территории объекта – 18000 га. Подстилающими породами служат глины с наличием карбонатов. На части территории (4 тыс. га) построена осушительная сеть под лесомелиорацию. На участке мелиорации и за его пределами выбраны 2 пункта наблюдений за режимами болота: на естественном участке – п. 7, и на осушаемом под

лесомелиорацию – п. 6. На мелиорируемой территории расстояние между каналами – 150 м, проектная норма осушения – 0,6 м. Сравнение строения торфяных залежей на исследуемой территории позволяет сделать вывод об одинаковых экологических условиях развития болотных экосистем в обоих пунктах до осушения. Торфяная залежь верхового типа до глубины 1,25 м сложена фускум-торфом, далее следует ангустифолиум-торф, ниже – переходный пушицево-сфагновый торф. Возраст торфяной залежи – 5200 ± 180 лет (СО РАН–8041), мощность залежи – 3 м. Торфы объекта «Участок 5» характеризуются кислой реакцией среды, высокой гидролитической кислотностью и низкой суммой поглощенных оснований. Степень разложения торфов достигает 40 % к подстилающим породам.

Другой объект изучения – эвтрофное болото Таган имеет площадь 4068 га и расположен в древней ложбине стока р. Томи, на которой подстилающими породами служат пески, супеси и суглинки. Такое сочетание внешних условий позволило сформироваться торфяной залежи мощностью около 3 м довольно однородного ботанического состава с невысокой зольностью. В торфяной залежи преобладает древесно-травяной торф высокой степени разложения (35...60 %). Реакция среды в торфах слабокислая и нейтральная, невысокая гидролитическая кислотность, степень насыщенности основаниями близка к 100 %. Возраст торфяной залежи – 5465 ± 140 лет (СО РАН–7646), мощность – 3 м. В пределах болота были выбраны 2 пункта наблюдений за режимами, на естественном участке – п. 1, на осушаемом – п. 2. На территории пункта 2 проведена агролесомелиорация: борозды глубиной 0,5 м с расстоянием между бороздами 2...4 м.

Наблюдения за уровнями болотных вод (УБВ) проводили в специально оборудованных колодцах в каждом пункте в соответствии с Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам [11] с периодичностью раз в неделю. За нулевую отметку принята условная отметка средней поверхности болотного ландшафта. За среднюю поверхность болота принимали поверхность, соответствующая отметке средней высоты элементов

микрорельефа [10], положение уровня определяли как разность отметок репера и зеркала болотных вод. Для изучения водного режима отбирали пробы торфа до глубины УБВ еженедельно в 5 повторностях. Влажность определяли весовым методом согласно ГОСТ 11305–83 [5]. Датирование ТЗ выполнено на радиоуглеродной установке Quantulus-1220 (бензольно-сцинтилляционный вариант) в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии СО РАН.

Учет выделяющегося CO₂ проводили абсорбционным методом по В.И. Штатнову в модификации Б.Н. Макарова [9]. Для измерения эмиссии CO₂ и CH₄ использовался камерный метод [3], газовый состав анализировали на хроматографе «Кристалл-5000.1» [4] с периодичностью 5 раз за вегетационный период.

Рассмотрим гидрологический режим и эмиссию CO₂ объекта «5-й участок» Васюганского болота. Режимы торфяных залежей данного объекта изучались на протяжении 6 лет, с 2000 по 2005 г., разными временными интервалами. Из них 2 года (2000 и 2003 г.) можно отнести к относительно сухим (гидротермический коэффициент – далее ГТК) – 0,8 и 0,8), 2 года с ГТК 1,4 и 1,3 – к среднемноголетним, и 2004 и 2005 г. с ГТК 1,6 и 1,8 – к относительно влажным.

Среднемноголетние амплитуды колебаний УБВ в теплый период характеризовались значениями –22,4 и –19 см на мелиорируемом и естественном пункте соответственно. За годы исследований УБВ на мелиорируемом участке изменялся в пределах –28...–6,4 см, на естественном участке – в пределах от –22,8 до –3,8 см относительно среднего уровня поверхности болота (рис. 1).

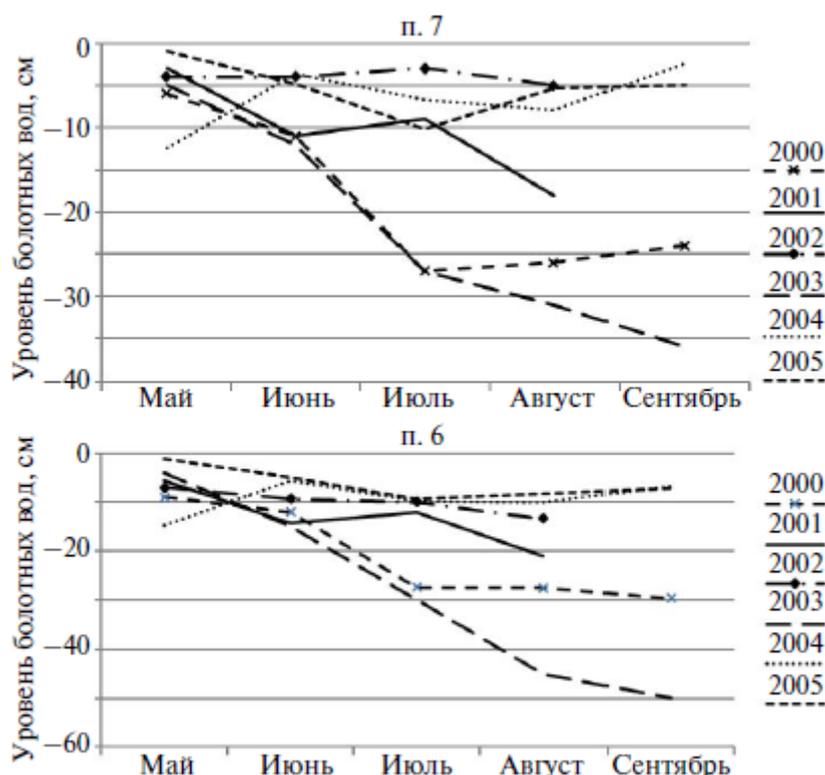


Рис. 1. Динамика уровней болотных вод в торфяных залежах за 2000–2005 гг.

Динамика УБВ за 5 лет в течение теплых периодов характеризовалась весенним максимумом – 8 и 6 см и осенним минимумом – (–19,5) и (–13,2) см ниже средней поверхности соответственно для мелиорируемого и естественного участков. В этих условиях влажность поверхностного слоя 0...10 см на обоих участках варьировала в пределах 83...95 % от полной влагоемкости (ПВ). В слое 10...20 см влажность всегда была близка к ПВ, в нижних слоях – ПВ, в них чаще всего находилось зеркало болотных вод. В теплый период 2003 г., когда ГТК был равен 0,8, УБВ опустились ниже обычного – до –40...–60 см соответственно в п. 7 и 6, влажность в этих слоях была ниже значения ПВ (табл. 1).

Таблица 1

Влажность в торфяной залежи участка 5, %

Глубина, см	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
2001 г.					
0...10	90,8/90,8	92,6/91,5	92,6/89,2	89,7/93,2	90,2/88,1
10...20	95,7/95,1	94,4/95,9	94,9/вода	94,1/94,7	92,9/93,2
20...30	Вода	Вода	Вода	Вода	Вода
2002 г.					
0...10	94,8/94,4	95,7/95,4	95,5/94,7	91,3/91,7	95,7/94,0
10...20	Вода	Вода	Вода	93,7/95,9	Вода
2003 г.					
0...10	93,9/92,7	91,8/94,0	90,3/91,6	89,3/83,4	92,3/90,3
10...20	Вода	94,3/Вода	92,1/91,9	93,0/89,8	91,5/90,4
20...30	Вода	Вода	91,6/93,8	90,2/91,5	92,9/91,8
30...40	Вода	Вода	93,7/Вода	92,7/92,2	92,8/91,9
40...50	Вода	Вода	94,5/Вода	92,4/95,8	Вода
2004 г.					
0...10	94,1/93,6	90,0/90,0	Не определяли	91,5/94,5	91,3/90,2
10...20	Вода	93,5/86,3	94,4/Вода	94,4/Вода	95,0/93,1
2005 г.					
0...10	91,7/90,9	94,0/92,3	83,6/84,4	94,4/91,7	95,3/88,7
10...20	Вода/93,1	Вода/93,1	Вода	96,1/92,2	Вода

Примечание. Числитель – пункт 7 (естественный), знаменатель – пункт 6 (осушаемый).

Таким образом, полученные за период исследований результаты режима влажности на обоих пунктах наблюдений объекта «Участок 5 Васюганского болота» свидетельствуют о том, что если даже процесс заболачивания на исследуемой территории не прогрессирует, то он находится в стабильном состоянии. Тем более, судя по погодным условиям (за 5-летний период исследований только два года были относительно сухими), фактор соотношения температуры и выпадающих осадков как за теплый период, так и за зимний период свидетельствуют не в пользу снижения активности заболачивания.

Приведем динамику диоксида углерода и его суммарный поток за 4 года в торфяной залежи олиготрофного болота на естественном и мелиорируемом пунктах наблюдения. Период изучения охватывал 1 год относительно влажного (2005 г.), 2 года – среднемноголетних по ГТК (2001 и 2004 г.) и 1 год – относительно сухого (2003 г.).

Из торфяных залежей п. 7 и п. 6 за исследуемые теплые периоды выделилось близкие значения количества углерода (разница в пределах 0,01...12,0 %), за исключением 2005 г. В этом году суммарный поток углерода

из торфяной залежи мелиорируемого п. 6 был самым высоким за весь период исследований – 98,8 г C/(м²·год) и выше по сравнению с естественным пунктом 7 на 26 % (табл. 2). Важно отметить, что величина суммарного потока углерода в относительно экстремальные годы (2003 и 2005 г.) была выше на мелиорируемом п. 6 – 89,7 и 98,8 г C/(м²·год) соответственно. Но как выше было отмечено, даже при экстремальных значениях эмиссии разница показаний на естественном и мелиорируемом пункте не превышала 12 %. Поэтому расчет баланса углерода проведем в усредненном виде.

Таблица 2

Суммарный поток углерода за теплый период на олиготрофном болоте, г C/(м²·год)

Год/ГТК	Суммарный поток углерода, г C/(м ² ·год)	
	Естественный	Мелиорируемый
2001/1,3	77,6	73,4
2003/0,8	79,2	89,7
2004/1,6	69,4	62,6
2005/1,8	78,2	98,8

В исследуемых пунктах чистая первичная продукция (NPP) изменялась в пределах от 323 до 875, в среднем значении была равна 360 г C/(м²·год). Эмиссия углерода из торфяной залежи в виде метана и диоксида углерода измерялась в среднем на 24,1 % NPP, потери углерода с болотными водами не превышали 3 % NPP, составляя в сумме 97,5 г C/(м²·год). Отсюда следует, что в балансе углерода преобладает аккумуляция углерода в изучаемых торфяных залежах (360 – 97,5 – 10,8 = 251,7 г C/(м²·год)) и соответственно прогрессирующее заболачивание на исследуемом объекте в современный период.

Вернемся вновь к эмиссии парниковых газов и определим влияние погодных условий на динамику эмиссии. Эмиссия диоксида углерода во влажном 2005 г. была существенно выше в п. 6, но особенно выделялись высокими значениями май и июнь – соответственно 145,2 и 154 мг CO₂/(м²·ч) (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Динамика эмиссии CO₂ из торфяной залежи пункта 7, мг CO₂/(м²·ч)

Год/ГТК	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2001/1,3	22,0 ± 2,3	75,9 ± 19,5	66,0 ± 10,2	195,2 ± 12,8	34,1 ± 1,8	78,6
2003/0,8	173,2 ± 21,1	113,6 ± 27,9	82,5 ± 18,8	100,5 ± 17,3	36,6 ± 2,4	101,3
2004/1,6	112,2 ± 8,9	33,0 ± 9,1	48,4 ± 9,6	66,0 ± 12,2	88,0 ± 7,8	69,5
2005/1,8	161,7 ± 14,4	33,0 ± 8,4	51,7 ± 7,9	104,5 ± 21,1	44,3 ± 4,3	79,0

Таблица 4

Динамика эмиссии CO₂ из торфяной залежи пункта 6, мг CO₂/(м²·ч)

Год/ГТК	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Среднее
2001/1,3	29,3 ± 4,6	25,3 ± 5,9	62,7 ± 8,9	216,7 ± 21,6	36,8 ± 9,0	74,2
2003/0,8	137,5 ± 25,5	90,4 ± 12,6	84,3 ± 4,8	86,1 ± 13,3	57,4 ± 7,6	91,1
2004/1,6	41,2 ± 8,4	68,2 ± 8,7	84,7 ± 12,5	71,5 ± 11,8	55,0 ± 8,4	64,1
2005/1,8	145,2 ± 18,9	154,0 ± 31,1	64,9 ± 11,2	93,5 ± 11,2	45,0 ± 6,9	100,5

В относительно сухой 2003 г. эмиссия CO₂ в среднем оставалась также высокой за теплый период, как и во влажный 2005 г., но распределение по месяцам было иным.

На естественном пункте 7 наибольшая эмиссия наблюдалась в относительно сухой год, а в остальные годы она была примерно одинаковой с разными сочетаниями по месяцам, то есть влияние погодных условий явно не проявлялось. Однако можно предположить наличие этого влияния только во влажный год, когда на мелиорируемом участке (п. 6) эмиссия оказалась самой высокой. По средним значениям эмиссии из торфяных залежей за теплый период естественный и мелиорируемый пункты были примерно одинаковы. Полученные результаты показывают, что погодные условия – не единственная причина разной динамики эмиссии по годам, в то время как их значимость на эмиссию газов ранее отмечалась исследователями [13, 14].

Исследования на болоте Таган проводили в течение 8 лет – с 2008 по 2015 г. За годы исследований по ГТК выделялся сухой год (2014 г., ГТК = 0,4), относительно сухие годы (2010, 2012 и 2013 г., ГТК соответственно 0,9, 1,1 и 1,0), среднемноголетние годы (2008, 2011, 2015 г., ГТК соответственно 1,3, 1,4 и 1,3) и влажный год (2009 г., ГТК = 1,8).

На рис. 2 показаны среднемноголетние УБВ. Динамика их изменения является интегральным показателем взаимодействия испарения, осадков,

стока и водообмена. На протяжении всех теплых периодов УБВ были ниже на 20...40 см в торфяном профиле мелиорируемого п. 2 по сравнению с профилем на естественном п. 1. Наибольший интервал колебаний УБВ составил 55 см в п. 1, 70 см – в п. 2. Таким образом, более высокие УБВ наблюдались в торфяной залежи п. 1, а устройство неглубокой осушительной сети на участке с агролесомелиорацией повлияло на более низкие УБВ в торфяной залежи п. 2.

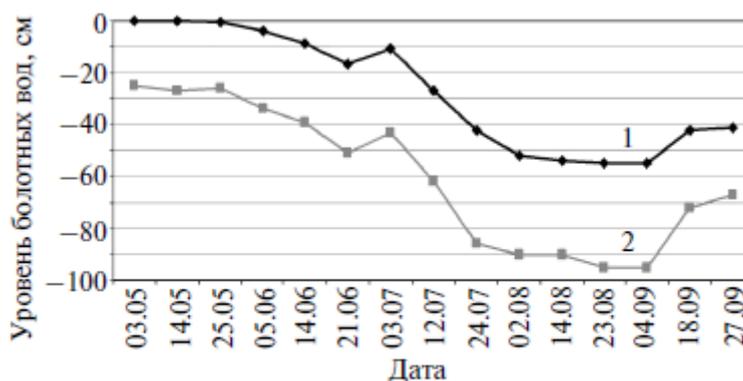


Рис. 2. Среднегодовья динамика уровней вод на болоте Таган: 1 – пункт 1; 2 – пункт 2

В разные годы по ГТК влажность в слое 0...50 см болота Таган не снижалась за предел 0,8 ПВ, а во влажные годы длительное время вода находилась на поверхности болота. В мелиорируемой торфяной залежи п. 2, динамика влажности идентична динамике влажности в п. 1, несмотря на разные УБВ. Необходимо заметить, что эти два пункта расположены на небольшом расстоянии друг от друга, а проходящий нагорный канал, возможно, оказывает частичное влияние на режим влажности и в торфяной залежи п. 1. Соответственно, динамика влажности в п. 1 и 2 оказалась практически одинаковой на протяжении разных по погодным условиям лет исследований. Но возможна и другая причина. Например, в работе С.Э. Вомперского [2] приводится вывод о том, что при мелиорации эвтрофных болот по сравнению с верховыми и переходными увеличения стока может и не быть за счет разгрузки грунтовых вод. Структура их водного баланса может приближаться к естественному дренируемому состоянию, но при существенно

больших влагозапасов, сохраняющихся в торфяной залежи и после проведения мелиорации.

Рассмотрим, как в таких условиях водного режима формировался баланс углерода в мелиорируемой и естественной торфяной залежи. Биологическая продуктивность на этом объекте не изучалась, поэтому примем значение NPP для эвтрофных болот исследуемой территории равным 1056 г С/(м²·год) [4]. Поток углерода и эмиссию CO₂ на объекте Таган по месяцам проследим за теплые периоды 2011 и 2012 г., последний год – более сухой (ГТК соответственно 1,4 и 1,1). Проведенные наблюдения за эмиссией CO₂ с эвтрофного болота показали, что поток углерода за сезон составил соответственно по годам в п. 1 – 52,4 и 77,3 г С/(м²·год), в п. 2 – 59,5 и 141,7 г С/(м²·год), что меньше чистой первичной продуктивности в 7...22 раза. Отсюда следует, что и в эвтрофных болотах южно-таежной зоны в балансе углерода преобладает аккумуляция углерода, что также свидетельствует о прогрессирующем заболачивании в современный период.

Более подробно рассмотрим динамику CO₂ за отдельные месяцы (табл. 5). Пределы изменения эмиссии CO₂ в торфяных залежах п. 1 и 2 варьировали от 12,7 до 390,4 мг С/(м²·ч). В погодных условиях более влажного периода активность эмиссии в п. 1 была выше, что особенно проявилось в июле. В сентябре также отмечались высокие значения эмиссии на фоне невысокого ГТК. В этот период температура воздуха понижалась, но, благодаря высокой теплоемкости торфов, в торфяной залежи температура была выше, чем на поверхности. Такой эффект наблюдался и в п. 2.

Таблица 5

Динамика эмиссии CO₂ на болоте Таган, мг С/(м²·ч)

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Пункт 1					
2011	73,8	64,6	102,0	56,1	89,1
2012	72,3	29,4	14,5	16,2	129,2
Пункт 2					
2011	12,7	390,4	98,2	101,3	104,1
2012	79,2	39,0	31,1	63,4	84,0

В 2012 г. значения эмиссии из торфяной залежи п. 1 были существенно ниже по сравнению с 2011 г. за исключением мая (когда они были одинаковыми) и сентября, в котором отмечалось превышение эмиссии по сравнению с 2011 г. в 1,5 раза.

По всей вероятности, выпадение осадков после сухого периода стимулировало протекание биохимических процессов в торфяных залежах, в результате которых эмиссия CO₂ увеличилась до 129,2 мг C/(м²·ч)). В 2012 г. в п. 2 ее значения были выше (в 1,2...7 раз), а динамика – аналогична динамике CO₂ в п. 1. В 2011 г. особо выделялась динамика эмиссии CO₂ в п. 2. Так, в мае эмиссия CO₂ в п. 2 была равна 12,7 мг C/(м²·ч). В июне происходило резкое ее увеличение до максимальных значений за рассматриваемые летние периоды по обоим пунктам – 390,4 мг C/(м²·ч). В последующие месяцы уровень эмиссии стабилизировался в пределах 98,2...104,1 мг C/(м²·ч) включительно по сентябрь. Даже по этим двум годам можно сделать заключение, что кроме погодных условий на эмиссию CO₂ оказывают влияние и другие факторы.

Для определения зависимости интенсивности выделения CO₂ от гидротермических проведен корреляционный анализ и расчет корреляционных отношений в слое 0...50 см обоих пунктов наблюдений. Так, на выделение CO₂ из торфяной залежи оказывает влияние температура каждого слоя до 30 см (коэффициент корреляции – 0,4...0,5) и не влияет влажность. Результаты корреляционного анализа подтвердили, что на активность выделения CO₂ достоверно влияет температура в слое 0...50 см. Анализ корреляционных отношений показал наличие связи с высоким значением корреляции (0,72) между эмиссией CO₂ и УБВ. Отличий между естественной и мелиорируемой торфяной залежью в расчетах корреляционных связей и отношений выявлены не были.

В заключение хотелось бы подчеркнуть тот факт, что реакция на изменение погодных условий не всегда происходила одновременно в торфяных залежах обоих пунктов. Возможно это связано с физической

природой торфяных залежей – диффузией CO₂, когда выделение из глубины к поверхности и далее в атмосферу происходит при сочетании нескольких факторов, что отмечалось, например, в работе [12].

Таким образом, в условиях южно-таежной зоны Западной Сибири проведение лесомелиорации на олиготрофном болоте 60 лет назад в настоящее время показывает незначительное ее влияние на гидрологический и газовый режим мелиорируемой территории, который близок к естественному состоянию. Это свидетельствует о повторном заболачивании исследуемой территории при отсутствии осушительной системы. Аналогичные процессы наблюдаются и на эвтрофном болоте в лесостепной зоне, на котором также 60 лет назад была проведена агролесомелиорация.

В последние годы отмечается четкая тенденция усиления трансгрессии болот на леса, например, на северо-западе России. Линейный рост болот, их наступление на окружающие суходолы достигает на этой территории в настоящее время 30...50 см/год, а вертикальный прирост торфа равен в среднем 3 мм/год [8]. Статистические данные свидетельствуют о том, что за последние 30 лет увеличение заболоченности отмечается во всех административных районах (кроме некоторых южных) России. Совершенно очевидно, что современное заболачивание в большой степени обусловлено в том числе разрушением созданных ранее лесосушительных систем. По данным [7], в России с 1775 по 1991 г. было осушено 4,96 млн га, с 1925 по 1991 г. (без Прибалтики, Белоруссии и Украины) лесосушительные системы были построены на площади более 4 млн га. В 1991 г. гидроресомелиоративные работы, как известно, резко сократились. Есть основания полагать, что к настоящему времени вторичному заболачиванию подверглось не менее 1 млн га.

Выводы

1. В южно-таежной зоне Западной Сибири проведение лесомелиорации 60 лет назад на олиготрофном болоте (участок 5 Васюганского болота) в настоящее время оказывает незначительное влияние на гидрологический

режим мелиорируемой территории, который приближается к естественному состоянию, что свидетельствует о повторном заболачивании этой территории при отсутствии осушительной системы. Исследования баланса углерода также подтверждают усиление процесса его депонирования на естественном и мелиорируемом участках.

Состояние водного режима и углеродного баланса в торфяной залежи эвтрофного болота Таган в условиях агролесомелиорации также указывает на вторичное заболачивание мелиорируемой территории.

2. Определены условия и параметры продуцирования CO₂ болотными ландшафтами разного генезиса и мелиоративного воздействия. В южно-таежной зоне на олиготрофном болоте (участок 5 Васюганского болота) динамика выделения CO₂ была практически одинакова на естественном и мелиорируемом участках, но максимальная величина эмиссии CO₂ в среднем за теплый период с осушаемой торфяной залежи была выше (до 216,7 мг С/(м²·ч)). Поток за теплый период составил 69,4...79,2 и 62,6...98,8 г С/(м²·год) соответственно на естественной и осушаемой торфяной залежи, что подтверждено и УБВ. Это свидетельствует об остаточном эффекте проведенной мелиорации 60 лет назад.

Эмиссия CO₂ в среднем из торфяной залежи эвтрофного болота Таган изменялась в пределах 12,7...390,4 мг С/(м²·ч). Более активно образование CO₂ наблюдалось в мелиорируемой торфяной залежи. В результате поток CO₂ за теплый период составил в естественной торфяной залежи от 52,4 до 77,3 г С/(м²·год) и в осушаемой – от 59,5 до 141,7 г С/(м²·год). Если сравнить по эмиссии CO₂ естественный п. 1 и мелиорируемый п 2 эвтрофного болота, то этот процесс активнее протекал в мелиорируемой торфяной залежи, где выделялось количество CO₂, в 2...3 раза превышающее эмиссию в естественной залежи, что также свидетельствует об остаточном эффекте мелиорации. Кроме того, активность образования CO₂ и зоны ее проявления, надо полагать, определяются комплексом условий на каждый период времени.

К подобным выводам также пришел Borren Wiebe [15], изучая болота Западной Сибири.

3. Агрессивный характер процесса заболачивания на территории Западной Сибири предполагает активное проведение мелиорации.

4. Увеличение заболоченности на северо-западе России предположительно связано с разрушением созданных ранее лесосушительных систем. Здесь на ближайшую перспективу первоочередной задачей становится разумное восстановление лесомелиоративных систем.