ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ДУБНЕНСКОГО БОЛОТНОГО МАССИВА

Кутузова Н.Д.[1], Голубева О.В.[2], Куст Г.С[1], Розов С.Ю.[2] , Розанова М.С.[2]
[1]Институт экологического почвоведения МГУ
[2]Факультет почвоведения МГУ

Описаны почвы, приуроченные к основным формам ландшафтов, распространенных в пределах Дубненского болотного массива на момент начала функционирования системы обводнения ранее осушенных и выработанных торфяников. Дана характеристика их химических свойств, связанных с основными почвообразующими процессами, характерными для органогенных почв. Выделены наиболее информативные показатели для диагностики степени трансформации исследованных почв.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Мировое сообщество в рамках международных программ активно ведет работы по регенерации ранее нарушенных экосистем и восстановлению осушенных болот с целью повышения разнообразия природных ландшафтов (Германия, Финляндия, США, Швеция, Эстония) [5]. В 1994 году Россия официально стала страной-участницей, подписавшей соглашение Рамсарской Конвенции по водно-болотным угодьям.

Осушенные и не используемые торфяные болота представляют значительную пожарную опасность. В середине XX века на территории нашей страны болота осушали в ходе масштабной мелиорации посредством самотечной осушительной системы мелиоративных каналов. К концу XX века, без должного поддержания, системы мелиоративных каналов на выработанных торфяниках пришли в негодность, а последствия запустения привели к периодическим стихийным пожарам, особенно в засушливый 2010 год. Так, за лето 2010 г. в центре Европейского Нечерноземья огнем была охвачена территория в 650 тыс. га, что привело к колоссальным финансовым и ресурсным затратам. В связи с этим, в России с 2010 года вступила в действие Федеральная целевая программа по обводнению торфяников (ФЦП), в частности, для Московской области.

Таким образом, обводнение выработанных торфяников, предусмотренное ФЦП, в первую очередь направлено на снижение пожароопасности и на предотвращение возгорания торфяных залежей.

Вместе с тем, повторное обводнение существенно изменяет направление эволюции ландшафта и почвенного покрова территорий, находящихся в зоне его воздействия, и если процессы трансформации почвенного покрова в результате осушения и выработки торфяных залежей изучаются уже не одно десятилетие, то работы, касающиеся эволюции вторично обводненных территорий, практически отсутствуют. Прогнозы по трансформации обводненных участков, приведенные в проектных документах, носят теоретический характер.

В связи с этим становится актуальной задача по мониторингу процессов трансформации ландшафтов, в результате повторного обводнения ранее осушенных и выработанных торфяников.

Одним из объектов ФЦП стала территория Дубненского болотного массива, расположенного в Талдомском районе Московской области. Дубненский болотный массив относится к крупным торфяным месторождениям. Запасы торфа оцениваются в

304,462 млн. $м^3$. Мощность торфяной залежи изменяется от 0 до 5 м и более. Его освоение началось в 30-х годах XX века, торфодобыча на отдельных участках и сельскохозяйственное производство на выработанных торфяниках существуют по настоящее время [6].

В рамках ФЦП в 2011-2012 годах на территории Дубненского болотного массива были проведены мероприятия по обводнению ранее осушенных торфяников. Проведение полевых исследований в 2012 году позволило нам зафиксировать исходное состояние почв, приуроченных к различным ландшафтам, и дать предварительную характеристику почвенного покрова на момент начала работы системы обводнения. Описанные объекты послужат в качестве отправной точки для последующего почвенно-экологического мониторинга эффективности проведенных мелиораций.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дубненский болотный массив представляет собой древнюю ложбину стока ледниковых вод в восточной части Верхневолжской низменности, сильно заболоченную и залесенную. Формирование болот и последующее накопление торфа осуществлялось по мере зарастания и заболачивания древнего водноледникового озера. В геоморфологическом отношении обследованная территория расположена в пределах Клинско-Дмитровской моренно-эрозионной возвышенности. Абсолютные отметки варьируют от 122 м (пойма р. Дубны) до 145 м в центральной части. С севера к болотному массиву прилегает Талдомская морено-холмистая гряда в виде серии останцов и является водоразделом для р. Хотчи (северо-запад) и р. Дубны (юго-восток). Рельеф района исследований в целом плоский и пологоволнистый, а на севере района – часто средне- и мелкохолмистый. Геологическое строение обусловлено оледенениями и межледниковыми эпохами Голоцена. Флювиогляциальные отложения, представленные тонко- и разнозернистыми слоями, сформированы талыми водами при отступлении валдайского оледенения в период молого-шекснинского межледниковья. Они формируют котловину стоковых ледниковых вод и их мощность составляет 10-15 м. Эти образования залегают под слоем болотных и озёрно-ледниковых отложений - сапропелей - и подстилаются чаще всего верхней мореной валдайского оледенения. В соответствии со схематической картой озерных отложений европейской части СССР [37] исследуемая нами территория находится в районе известковистых сапропелей. Состав и свойства отложений сапропеля зависят от комплекса физико-географических условий существования водоема и. в основном, подчиняются географической зональности. На консистенцию сапропеля сильно влияют минеральные примеси, придающие ему характер глинистых, песчаных или известковистых образований.

Болота, занимающие большую часть территории, представлены низинными, переходными и верховыми, значительная часть которых осушена и находится в зоне гидромелиорации. Значительные по площади участки заняты березово-ольховыми лесами; сильно переувлажненные участки низинных торфов заняты черноольшаниками, расположенными на транссупераквальных участках – в ложбинах естественного стока минерализованных вод с Талдомской гряды и в понижениях естественного рельефа на северном склоне долины р. Дубны. На песчаных почвах произрастают сосняки. На плакорных участках, где горизонтальные отметки выше 145 м, сохранился зональный тип растительности – ельники зеленомошники. Местами имеются сырые заболоченные луга, в последние десятилетия не используемые под сельскохозяйственные нужды. Поэтому они сильно закустарены и местами поросли

молодым лесом. Сельскохозяйственные угодья на плакорах представлены полями зерновых культур и многолетними травами.

Водотоки района относятся к рекам равнинного типа со смешанным типом питания. Река Дубна имеет преимущественно грунтовый тип питания с подпиткой из пойменных и террасных болот. В разные годы на долю снегового питания приходится до 40 % годового стока. К источникам поступления воды также следует отнести дождевую (в разные годы дает от 12 до 20 % стока) в летне-осенний период. Русловые процессы развиты слабо, русло извилистое. В районе исследований русло реки было искусственно спрямлено еще в 20-х годах XX в. Половодье сопровождается выходом воды на пойму в течение довольно длительного времени. Ширина поймы сильно изменяется и может достигать 4-5 км, за счет чего привносимый речной материал оседает на поемных и террасных торфяных почвах, формируя тем самым иловато-торфяной подтип.

Уровень грунтовых вод сильно колеблется в течение сезона и по площади. Так, на олиготрофном болоте верховодка сочится уже с глубины 30 см. 70 % исследуемой территории попадает в зону влияния сети мелиоративных каналов открытого типа. Поэтому уровень грунтовых вод в приканавной области понижен в среднем на 30см. Выходы грунтовых вод из карбонатной морены на границе лесоболотного массива имеют минерализацию от 180 до 700 мг/л. Грунтовые воды доледниковых слоев в больших количествах содержат ионы двухвалентного железа – 6,4-104,2 мг/л. На верховых болотах минерализация воды резко падает до 50 мг/л [7].

В силу достаточной минерализации грунтовых вод в торфе могут образовываться небольшие стяжения карбонатов, железистых, фосфатных и других минеральных образований.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении полевых исследований нами ставились следующие задачи:

1. Исследование разнообразия почв, приуроченных к различным ландшафтам в пределах Дубненского болотного массива.
2. Предварительная характеристика почвенного покрова территории на момент начала работы системы обводнения торфяников.

Исследования проводились в летний период 2012-2013 гг. на участках интенсивного, умеренного и слабого осушения. Всего было выполнено зондирование в 20 точках, отобрано порядка 130 проб торфа с территории болотного массива и прилегающего водораздела.

В ходе полевого обследования тестовые скважины были приурочены к следующим основным формам ландшафта: 1) залежь на выработанных торфяниках, 2) сосняк сфагново-зеленомошный заболоченный, подвергшийся осушительной мелиорации, 3) ненарушенное мезотрофное болото, 4) ненарушенное олиготрофное болото, 5) заболоченный лес у подножия склона водораздела, подвергшийся осушительной мелиорации. Схема закладки почвенных скважин и разрезов приведена на рис. 1.

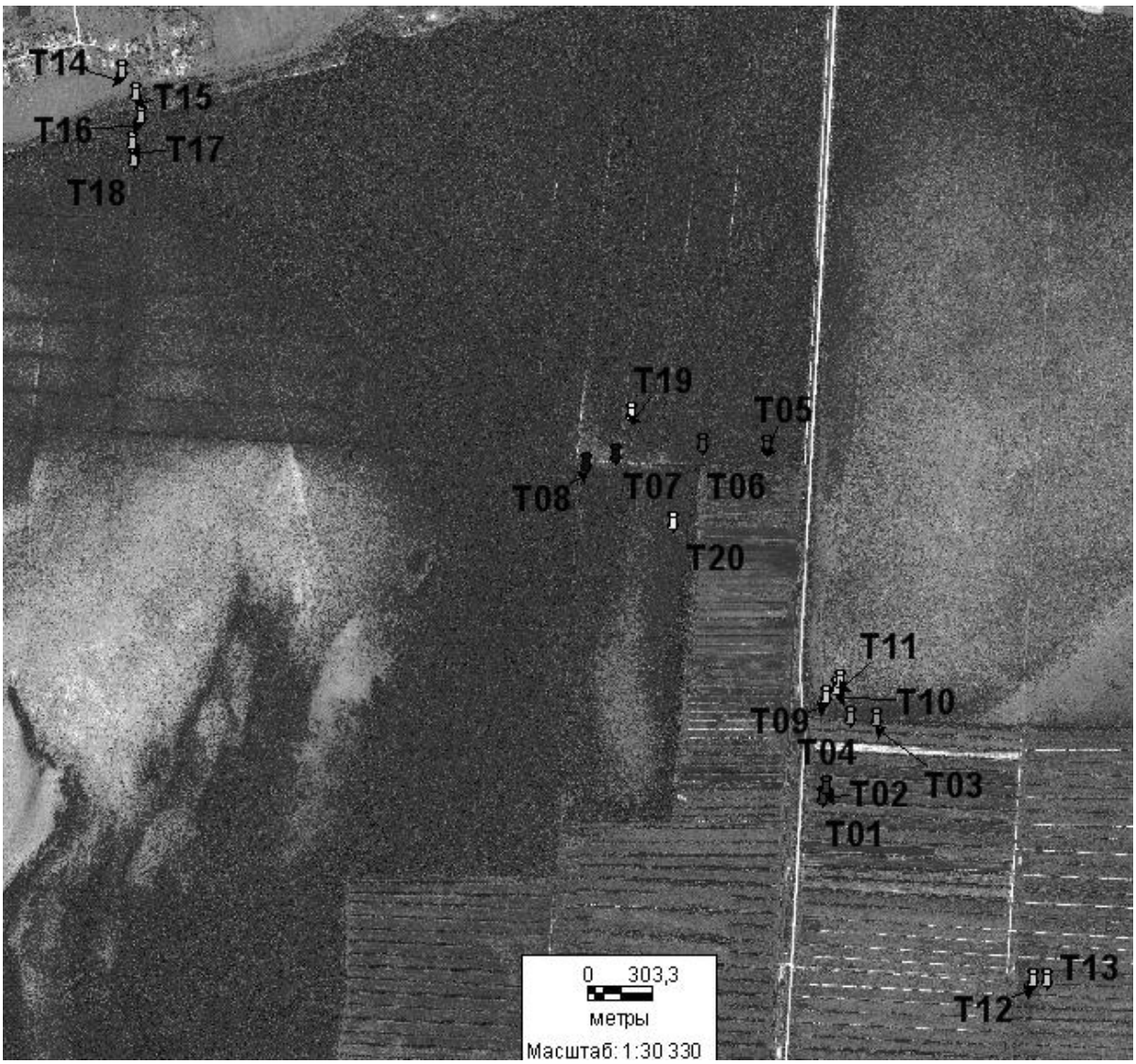

Рис. 1. Схема расположения скважин и почвенных разрезов

Отбор образцов проводили в следующих ландшафтных позициях:

1. Залежь на выработанных торфяниках. Скважины Т001, Т003, Т013. Растительная ассоциация представлена сорным разнотравьем с проективным покрытием до 80 %. Участок расположен в непосредственной близости от выкопанного в соответствии с ФЦП водонакопительного резервуара. Верхние 60 см торфяной залежи имеют комковатую структуру, тёмно-серую до черной окраску. При отжиме образцов верхних 60 см вода слабо сочится, торфяная масса пластичная, слабо мажущаяся. Степень разложения торфяных пластов достаточно однородная по глубине, ее можно охарактеризовать как средне- и сильно разложенную торфяную массу. Сапропелевый горизонт и минеральная подложка, в виде сизого оглеенного песка, вскрыты на глубине 3 м.

2. Сосняк сфагново-зеленомошный заболоченный, подвергшийся осушительной мелиорации. Сильно выраженный микрорельеф. Скважины Т005 и Т020. Перепад высот в пределах микрорельефа составил от 20 до 50 см. Верхние 30 см в обеих скважинах имеют темно-бурую окраску, среднюю степень разложения торфяной массы, которая повышается с глубиной; слабо выражена структура. При отжиме верхних 30 см вода бурого оттенка достаточно свободно стекает. В нижележащих

горизонтах несколько повышаются плотность и пластичность торфа. Минеральные горизонты в скважине Т005 вскрыты на глубине 3 м, в Т020 – на глубине 240 см.

3. Ненарушенное мезотрофное болото. Скважина Т009. Растительная ассоциация представлена сфагново-кустарничково-сосновой ассоциацией (подбел и багульник) с примесью карликовой березы. Верхние пласты торфа в пределах 50 см по своему сложению, окраске и ботаническому составу в большей степени схожи с торфами олиготрофной природы. Отсутствует структура, окраска торфяной массы темно-серого цвета с большим количеством слаборазложенных растительных остатков. Торфяная масса водянистая, вытекает из бура. Подстилающая органогенная порода имеет более насыщенную темную окраску, сложение плотное, с более выраженной структурой и большей степенью разложения. Минеральный горизонт вскрыт на глубине 240 см.

4. Ненарушенное олиготрофное болото. Скважина Т011. Сфагновое болото с редко стоящими угнетенными соснами. Перепады высот в микрорельефе до 50 см. Минеральный горизонт ниже 3 м, не вскрыт.

5. Заболоченный лес у подножия склона водораздела, подвергшийся осушительной мелиорации. Скважины Т008 и Т017 заложены в зоне смены березово-вейниковой ассоциации на черноольшаник с нитрофильной свитой. Профили имеют однотонную темно-коричневую окраску сверху с комковатой рыхлой структурой в верхних 50 см. Нижележащие пласты имеют темно-серую до черной окраску, увеличенную плотность сложения. Все отобранные образцы, за исключением корнеобитаемой зоны, представляли собой пластичную мажущую массу. При отжимании вода темно бурого цвета сочится из образца. Торф сильно разложен. Низинные торфяные почвы (Т008) формируются на среднемощных торфах, с глубиной залегания минерального горизонта на 150 см. Низинные торфяно-перегнойные почвы формируются на маломощных торфах (Т017) и подстилаются минеральной породой на глубине 120 см.

Систематический список исследованных почв по классификациям почв 1977 и 2004 гг. приведен в таблице 1.

Химическая характеристика исследованных почв. Характеристика органогенных горизонтов осушенных торфяников по литературным данным.

Именно органическое вещество торфов при осушении болот подвергается наибольшей трансформации. Эта трансформация имеет сложный характер и идет по следующим направлениям: 1) гумификация и минерализация вековых запасов органического вещества, накопляемого за время существования целинной болотной почвы; 2) гумификация и минерализация корневых и пожневных остатков, образовавшихся в осушенной почве. Сочетание этих процессов приводит к изменению количества и качества органического вещества. Если в целинных почвах процессы накопления органического вещества преобладают над процессами его разложения, то в осушенных и освоенных – доминируют процессы разложения.

По данным Кононовой [26] 2/3 новообразованных гумусовых веществ подвергается минерализации. Поэтому доля новообразованных гумусовых веществ очень мала по сравнению с их запасами, образовавшимися в целинной почве за длительное время. Следовательно, за счет процессов новообразования нельзя восполнить потери ОВ, связанные с минерализацией. По этой причине в освоенной почве по мере «сработки» верхней части органогенного горизонта на дневную поверхность выходит органическое вещество нижних слоев. Нижние горизонты, вышедшие на поверхность, прошли фазу развития, отличную от современного

состояния верхнего слоя целинной почвы. Исходный состав органического вещества этих слоев может меняться. А если считать, что торфяная залежь представляет собой серию погребенных почв, то законсервированные гумусовые вещества в нижележащих горизонтах есть продукт процессов синтеза при разрушении лабильной составляющей ОВ, но в былые эпохи.

Освоение торфяных почв сопровождается значительным накоплением гумусовых веществ и изменением их качественного состава. При освоении происходит накопление биохимически устойчивой части гумуса - гуминовых кислот. Вместе с тем, не представляется окончательно понятым механизм гумификации, недостаточно полно изучены свойства гуминовых кислот торфяных почв и их природа в зависимости от возраста и условий использования.

Наибольшее внимание исследователями было уделено именно гуминовым кислотам торфяных почв, однако до сих пор так и не выявлены зависимости структуры этих сложных полифункциональных органических веществ в составе торфа от геохимической обстановки, ботанического состава, возраста торфа и других факторов.

Протекающие процессы гумификации в торфяном субстрате носят свои особенности, в силу чрезвычайно ограниченной роли минерального компонента. Установлено, что общая направленность гумусообразования торфяных почв различных типов связана с накоплением в нижних слоях пептизируемого гумуса. Накопление фульвокислот в освоенных почвах не происходит, так как они легче подвергаются минерализации и вымыванию из почвенного профиля. В результате происходит значительное расширение соотношения Сгк:Сфк вглубь по профилю и обогащение гумуса наиболее ценной его частью [4].

Хорошо выражена сопряженность содержания гидролизуемых гумусовых веществ и фульвокислот со степенью осушения, т.е. с интенсивностью окислительных процессов. Погребение торфяного пласта, сопряженное с ухудшением окислительной обстановки, может служить объективной причиной восстановления фульвокислот, как более окисленных соединений, и перехода их в гуминовые кислоты [13, 32].

Любая система в природных изменяющихся условиях испытывает постоянное, непрекращающееся влияние со стороны окружающей среды. Однако, как и почвенные системы, болотные биоценозы также обладают буферностью, которая способна противостоять внешним воздействиям до определенного порога. При изменении условий аэрации пропорции в групповом и фракционном составе гумуса могут смещаться и вновь стабилизироваться на уровне, соответствующем новой окислительно-восстановительной обстановке.

Как правило, на глубине 30-60 см в осушенных торфах и 8-20 см в неосушенных (в зависимости от интенсивности осушения и степени проточности) групповой состав гумуса сохраняет свое постоянство. Так, по исследованиям Ефремовой [15], отношение содержания углерода пептизируемого к углероду гидролизуемому чаще равняется двум, стабильно поддерживается гуматный тип гумуса. Выявленные особенности гумусного состояния, а также процессов агрегирования положены в основу разделения торфяной залежи на собственно почву и органогенную породу по прямым почвенным признакам. Торфяной субстрат, то есть органогенная порода, бесструктурная, отличается от подстилающей породы преобладанием в составе гумусовых веществ пептизируемых фракций, тип гумуса в основном гуматный. Пептизируемая фракция, которая в большей мере концентрируется в режиме частичного или полного анаэробиоза нижних слоев, стабильна, по всей вероятности, благодаря

Табл. 1. Систематический список исследованных почв

Классификация и диагностика почв России, 2004									
	T001	T003	T005	T008	T009	T011	T013	T017	T020
Ствол	органогенные почвы								
Отдел	торфяная								
Тип	эутрофная	эутрофная	мезотрофная	эутрофная	мезотрофная	олиготрофная	эутрофная	эутрофная	мезотрофная
Подтип	иловато-торфяная	иловато-торфяная	типичная	типичная	остаточно-эутрофная	типичная	иловато-торфяная	перегнойно-торфяная	типичная
Род	освоенная	освоенная	древесно-моховая	древесно-травяная	сфагновая	сфагновая	освоенная	древесно-травяная	древесно-моховая
Вид	на мощных торфах	на мощных торфах	на мощных торфах	на среднемощных торфах	на мощных торфах	на мощных торфах	на мощных торфах	на маломощных торфах	на мощных торфах
подстилаемые	легкой глиной	супесью	легким суглинком	средним суглинком	тяжелой глиной	не вскрыта	не вскрыта	средней глиной	легким суглинком
Профиль	TEmr-TT-DG	TEmr-TT-DG	TM-TT	TE-TT	TOte-TT	TO-TT	TEmr-TT-DG	TEh-TT	TE-TT
Классификация и диагностика почв СССР, 1977									
	T001	T003	T005	T008	T009	T011	T013	T017	T020
Тип	торфяная	торфяная	торфяная	торфяная	торфяная	торфяная	торфяная	торфяная	торфяная
Подтип	болотная низинная (типичная)	болотная низинная (типичная)	болотная низинная обедненная	болотная низинная (типичная)	болотная верховая	болотная верховая	болотная низинная (типичная)	болотная низинная (типичная)	болотная низинная (типичная)
Род	карбонатная-заиленная	заиленная	обычная	обычная	переходная	обычная	заиленная	обычная	обычная
Подрод	травяная	травяная	древесно-моховая	древесная	-	-	травяная	древесная	древесно-моховая
Вид	на глубоких торфах	на глубоких торфах	на глубоких торфах	на средних торфах	на глубоких торфах	на глубоких торфах	на глубоких торфах	торфяно-перегнойная на мелких торфах	на глубоких торфах

восстановительным процессам. Другой причиной накопления пептизируемого гумуса [15] называет его усиливающуюся с возрастом гидрофобность.

Исследования Гостищевой [9] также показали, что отличия в составе органического вещества в осушаемой почве происходят в верхнем горизонте. С глубины 30-40 см в осушаемой почве не наблюдается явных различий с естественной торфяной почвой. Содержание битумов в осушаемой почве постепенно увеличивается к нижним горизонтам. Содержание гуминовых кислот также закономерно увеличивается с глубиной. Отмечается только небольшое увеличение содержания гуминовых кислот щелочной фракции в верхнем горизонте осушаемой почвы. Увеличение доли трудногидролизуемых веществ и негидролизуемого остатка в верхнем горизонте осушаемой почвы, вероятно, происходит за счет уменьшения наиболее доступных для микроорганизмов легкогидролизуемых веществ [3, 4, 8].

По данным Симакова [35] в первые годы после осушения, наоборот, наблюдается сокращение отношения Сгк:Сфк на глубинах от 50 до 200 см и увеличение соотношения в верхних, за счет выноса подвижных фульвокислот в грунтовые воды. Тем не менее, при освоении мелиорируемых почв содержание ФК падает.

Освоение торфяных почв сопровождается значительным разрушением и исчезновением углеводов, как веществ, наиболее гидролизуемых микроорганизмами, число которых резко увеличивается при наступлении аэробных условий. Это приводит к накоплению гумусовых веществ и битумов, как в относительном показателе за счет уменьшения других групп ОВ при разложении, так и в абсолютном за счет усиления процессов синтеза гумусовых веществ [3, 11].

Плоткина [33] также подтверждает эти процессы. В ходе исследования сравнивались иловато-торфяные и перегнойно-торфяные почвы, где было установлено, что содержание трудногидролизуемых веществ в иловато-торфяных почвах выше, чем в перегнойно-торфяных, так как при гидролизе серной кислотой в гидролизат переходит больше соединений из тех почв, где содержится больше ГК. Более высокозольные иловато-торфяные почвы содержат в своем составе на 5-14 % больше «зрелой», выделяемой пирофосфатом фракции ГК, чем перегнойно-торфяные почвы.

В интенсивно осушенном профиле с глубиной повышается содержание водорастворимого углерода, в то время, как в естественных торфяниках его относительное количество, наоборот, может падать с глубиной. Все это свидетельствует об уменьшении подвижности органического вещества в осушенных торфах [13].

Что касается негидролизуемого остатка (НГО), то в изменении его содержания при осушении определенной закономерности не наблюдается [3, 27, 35]. Надо отметить, что понятие «негидролизуемый» остаток (НГО) условно и означает лишь устойчивость этой группы веществ к воздействию реактивов в конкретных условиях обработки.

Количество НГО имеет тенденцию к уменьшению при переходе от перегнойно-торфяных почв к иловато-торфяным с максимумом в торфах олиготрофной природы; причина этого может быть в том, что последние почвы содержат меньше форменных растительных остатков, чем перегнойно-торфяные. Кроме того, интенсивность разложения НГО зависит от природы составляющих его органических веществ. Предполагается, что в состав НГО торфяных почв входят лигнин, кутин, суберин, спорополенин, продукты неполной гумуфикации растений и некоторые другие вещества. Собственно гумин - основной компонент НГО минеральных почв - не свойственен для торфяных, так как отсутствие, либо очень низкое содержание в них глинистых минералов не приводит к формированию органо-минеральных комплексов [3].

Таким образом, интенсивность превращения органического вещества в мелиорированных почвах определяется географическим местоположением торфяника, ботаническим составом торфа, исходной степенью его разложения, величиной pH и Eh, степенью осушения, длительностью освоения и проч.

Наибольшие превращения органического вещества происходят при освоении торфов моховой и травяной группы с низкой степенью разложения при повышенном содержании углеводов (15-30 %) и низким содержанием ГК (менее 20 %). Наименьшему разложению подвергается ОВ торфов древесной группы. Древесные торфы, имеющие среднюю и высокую степень разложения, отличаются низким содержанием редуцирующих веществ и высоким – гуминовых кислот. При освоении этих почв трансформация органического вещества торфа происходит очень медленно. Древесные остатки торфа устойчивы к биохимическим превращениям, поэтому повышение степени разложения этой группы торфов при мелиорации невелико по сравнению с целинной почвой [15, 28].

Разрушению со временем подвергаются даже наиболее устойчивые формы ГВ и битумов, так как находятся в торфяных почвах в свободном состоянии, т.е. до 70 % (эутрофные торфы) не связаны с минеральной частью. Отсутствие глинистых минералов не дает возможности образовывать прочные органо-минеральные комплексы, препятствующие разрушению ОВ.

Характеристика органогенных горизонтов исследованных почв.

Проведенные нами исследования (табл. 2) показали, что в профиле **слабо осушенных почв** с глубиной резко убывает содержание зольности (по ГОСТ № 11306-83); содержание водорастворимого углерода *(Сводн, %,* метод Почвенного института с окончанием через фильтрацию на мембранном фильтре и определением на токо-анализаторе*)* и органического углерода *(Сорг, %,* по Кононовой-Бельчиковой*)* имеет прогрессивно-аккумулятивное распределение*;* в верхних 50см плавно снижается кислотность (увеличивается pH) торфа (рис. 2).

Содержание общего углерода (*Собщ, %,* по Тюрину*)* и углерода негидролизуемого остатка *(Снго, %, определено как разница между Собщ и Сорг)* постепенно убывает до минимальных отметок на глубине 30-60 см и вновь накапливается с глубиной. Профильное распределение углерода фульвокислот *(Сфк, %),* наоборот, отмечается элювиальным характером накопления в средней части профиля с несколько меньшим содержанием в верхних 30-ти см от поверхности и с минимальными показателями на глубине 1 м.

Распределение показателей зольности, pH, общего углерода и углерода НГО по профилю мезотрофной остаточно-эутрофной почвы (Т009) аналогичны распределениям в профиле олиготрофной почвы. В надсапропелевом пласте торфа (210 см) наблюдается незначительное содержание карбонатов (< 0,5 %).

Распределение по профилю углерода ГК имеет равномерно-элювиальный характер, а содержание ФК – элювиально-иллювиальный характер распределения при незначительном увеличении ФК в корнеобитаемом слое (до 2,51 %) и минимальном их содержании на глубине 30-40 см (2,28 %).

Используя статистический метод «мера сопряженности» [34], было установлено, что наибольшей схожестью обладают кривые распределения зольности сравниваемых точек (r=0,75). Чуть меньший коэффициент у кривых распределения кислотности (r=0,68); наименее значим, но с положительным знаком - коэффициент распределения *Сгк*, r=0,13. Кривые распределения органического и общего углерода не имеют

Табл. 2. Средние значения (M) и стандартные отклонения (±m) показателей торфяных почв разных болотных микроландшафтов с разной степенью осушения

Степень осушения почв	Тип болотного микроландшафта	Глубина, см	Показатели								
			Зольность, %	pHводн	Карбонаты, %	Сорг, %	Сгк, %	Сфк, %	Сводн, %	Собщ, %	Снго, %
M - слабая УГВ=30±10см	олиготрофная типичная сфагновая (Т011) и остаточно-эутрофная осково-сфагновая почва на мощных торфах (Т009)	0-30	6,62±2,77	3,77±0,16	не опр.	5,31±0,18	2,71±0,31	2,60±0,13	2,26±0,24	41,54±2,02	36,78±1,42
		30-60	4,84±0,77	3,82±0,25		5,18±0,10	2,39±0,82	2,79±0,72	1,76±0,09	37,62±2,26	32,17±3,11
		60-90	4,55±0,45	4,04±0,40		5,69±2,01	3,08±1,12	2,61±0,89	1,69±0,07	38,39±1,78	33,44±2,74
		90-120	4,39±0,03	4,07±0,55		6,63±2,84	4,14±1,93	2,48±0,91	1,61±0,03	39,98±0,61	34,24±1,27
S - умеренная УГВ = 67,5±6,5 см	заболоченный лес, зона лесомелиорации:										
	торфяная мезотрофная типичная древесно-моховая почва (Т005) и мезотрофная перегной-торфяная двервесно-моховая почва (Т020) на мощных торфах	0-30	7,10±1,75	3,9±0,20	отсутств.	8,39	5,15	3,24	не опр.	36,41	28,06
					»	не опр. д/Т020					
		30-60	5,72±0,89	4,04±0,2		8,93	5,08	3,85	»	41,54	32,42
						не опр. д/Т020					
		60-90	4,02±0,85	4,37±0,42		8,93	5,19	3,74	»	42,91	33,55
						не опр. д/Т020					
		90-120	4,40±0,86	4,64±0,46	0,45	10,36	6,5	3,86	»	43,89	35,32
					не опр. д/Т020	не опр. д/Т020					
		120-150	3,97±0,76	4,78±0,52	0,45	10,19	6,26	3,93	»	43,19	34,26
					не опр. д/Т020	не опр. д/Т020					
		150-180	4,30±0,76	4,93±0,43	0,68	8,55	5,88	2,67	»	39,4	31,52
					не опр. д/Т020	не опр. д/Т020					
	торфяная эутрофная типичная	0-30	13,93±2,80	5,57±0,26	отсутств.	17,03±1,79	12,12±0,81	4,92±0,98	3,65±0,29	31,89±2,79	14,86±1,00
					»						

	дрввесно-травяная почва на среднемощных торфах (Т008) и эутрофная перегнойно-торфяная древесно-травяная на маломощных торфах (Т017)	30-60	9,94±1,02	5,54±0,35		16,57±2,41	12,34±1,33	4,24±1,08	2,86±0,33	37,22±0,12	20,65±2,53
		60-90	9,50±1,01	5,58±0,43	0,23	15,22±2,67	10,73±0,69	4,49±1,19	2,41±0,004	34,34±0,96	19,12±2,84
					не опр. д/Т008						
		90-120	13,91±5,35	5,89±0,09	0,23	13,93±1,27	10,17±0,66	3,75±0,61	1,79±0,55	34,37±4,29	20,44±5,56
					не опр.д/Т008						
		120-150	93,47±1,76	6,17±0,21	0,45±0,23	9,82	7,37	2,46	1,79	22,98	13,16
						не опр. д/Т017					
		150-180	не опр.			3,36	1,99	1,38	0,97	6,53	3,16
						не опр. д/Т017					
L - интенсивная УГВ = 93,3±11,5 см	участок выработанного торфяника, 10-ти летняя залежь										
	торфяная эутрофная иловато-торфяная на мощных торфах (Т001, Т003, Т013)	0-30	17,14±8,03	6,01±0,30	0,96±0,65	11,00±1,40	7,77±1,37	3,23±0,24	2,16±0,15	31,44±2,75	20,45±1,36
		30-60	12,39±5,19	5,80±0,08	0,45	11,72±2,45	7,35±1,51	4,36±0,96	2,95±0,68	34,91±3,16	23,20±1,43
					отсутств. д/Т003 и Т013						
		60-90	9,61±4,33	5,86±0,18	0,45	10,08±1,87	7,16±2,11	2,91±0,41	2,84±0,46	36,50±1,52	26,42±1,52
					отсутств. д/Т003 и Т013						
		90-120	10,32±4,99	5,87±0,24	1,35	8,71±0,60	6,55±0,20	2,16±0,80	2,59±0,60	37,22±3,75	28,51±3,36
					отсутств. д/Т003 и Т013						
		120-150	14,58±10,43	5,91±0,25	0,56±0,34	7,7±0,64	5,95±0,18	1,75±0,58	2,04±0,42	34,15±4,07	26,46±3,95
		>150	13,23±7,48	5,87±0,39	1,01±0,98	8,34±0,84	5,82±0,33	2,53±0,51	2,07±0,37	33,32±5,69	24,97±5,81

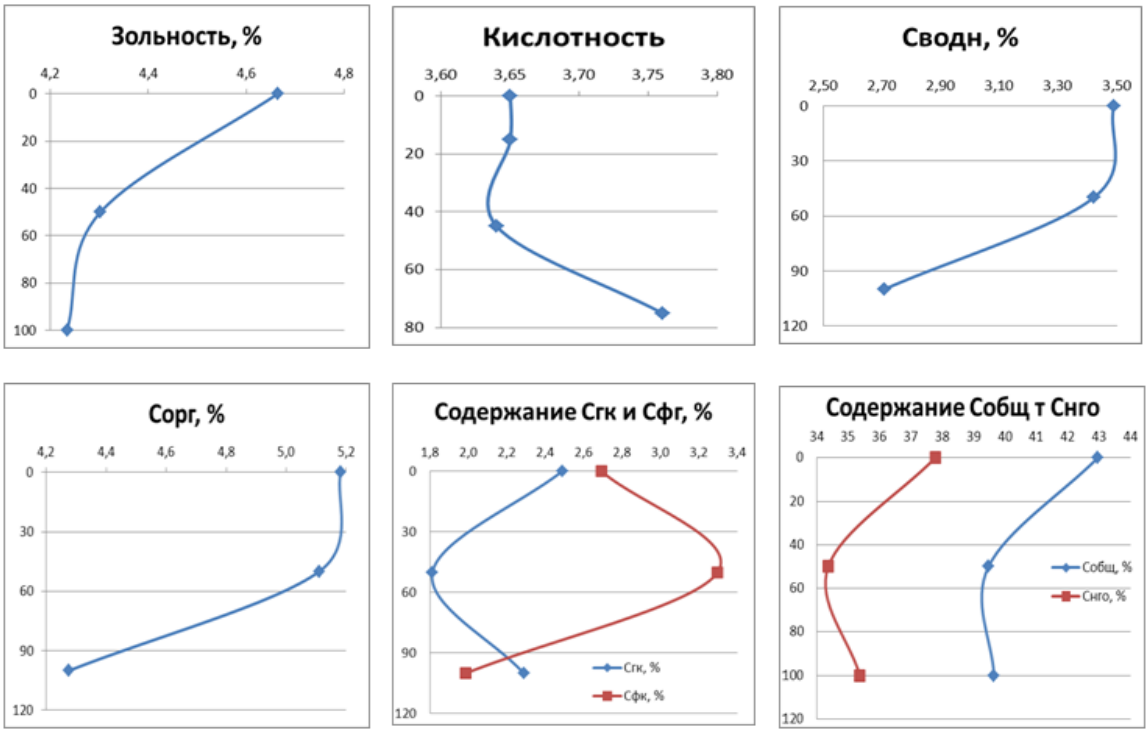

Рис. 2. Некоторые показатели химического состояния олиготрофной сфагновой торфяной почвы

Примечание: здесь и ниже: ГК – гуминовые кислоты, ФК – фульвокислоты, НГО – негидролизуемый остаток

соответствия друг с другом, на что указывает отрицательный коэффициент (-0,6 и -0,99 соответственно).

I группа почв умеренного осушения находится в зоне мелиорируемого заболоченного леса, преимущественно соснового, и представлена двумя объектами.

На высоте 127 м (Т020) растительный покров представлен древесно-осоковым биогеоценозом на мезотрофном болоте с преобладанием сосны IV класса бонитета. Явно выражен микрорельеф с перепадом высот до 50см. Верхние почвенные горизонты (до 40 см) имеют слабо выраженную комковатую структуру; характеризуются постепенным увлажнением с увеличением глубины и темно-бурой до серо-черной окраской в нижних горизонтах. Степень разложения от 20 до 30 %. Для участка на высоте 129 м (Т005) характерен тот же древесно-осоковый биогеоценоз на мезотрофном болоте, с преобладанием в древесном ярусе сосны III класса бонитета и березы в подросте. Явно выражен микрорельеф с перепадом высот до 50 см.

Отобранные торфяные образцы отличаются большей степенью увлажнения, нежели на участках низинного болота в зоне того же заболоченного мелиорированного леса.

Кислотность торфов равномерно убывает с глубиной от кислой до слабокислой реакции в сапропелевом горизонте (рис. 3). Зольность также имеет регрессивно-аккумулятивный характер распределения по профилю. Содержание карбонатов неоднородно по профилю. На пониженном участке карбонаты не поднимаются выше надсапропелевого горизонта (до 240 см), в то время, как на Т005 распределение карбонатов в профиле имеет два выраженных пика аккумуляции и элювиально-иллювиальный характер распределения по профилю. Пониженное содержание углерода в верхних 30 см может быть обусловлено высокой микробиологической активностью.

Распределение органического углерода носит равномерно-элювиальный характер с двумя выраженными пиками аккумуляции. Распределение углерода НГО, Сорг и Сгк также имеет выраженный элювиально-иллювиальный характер. Распределение углерода

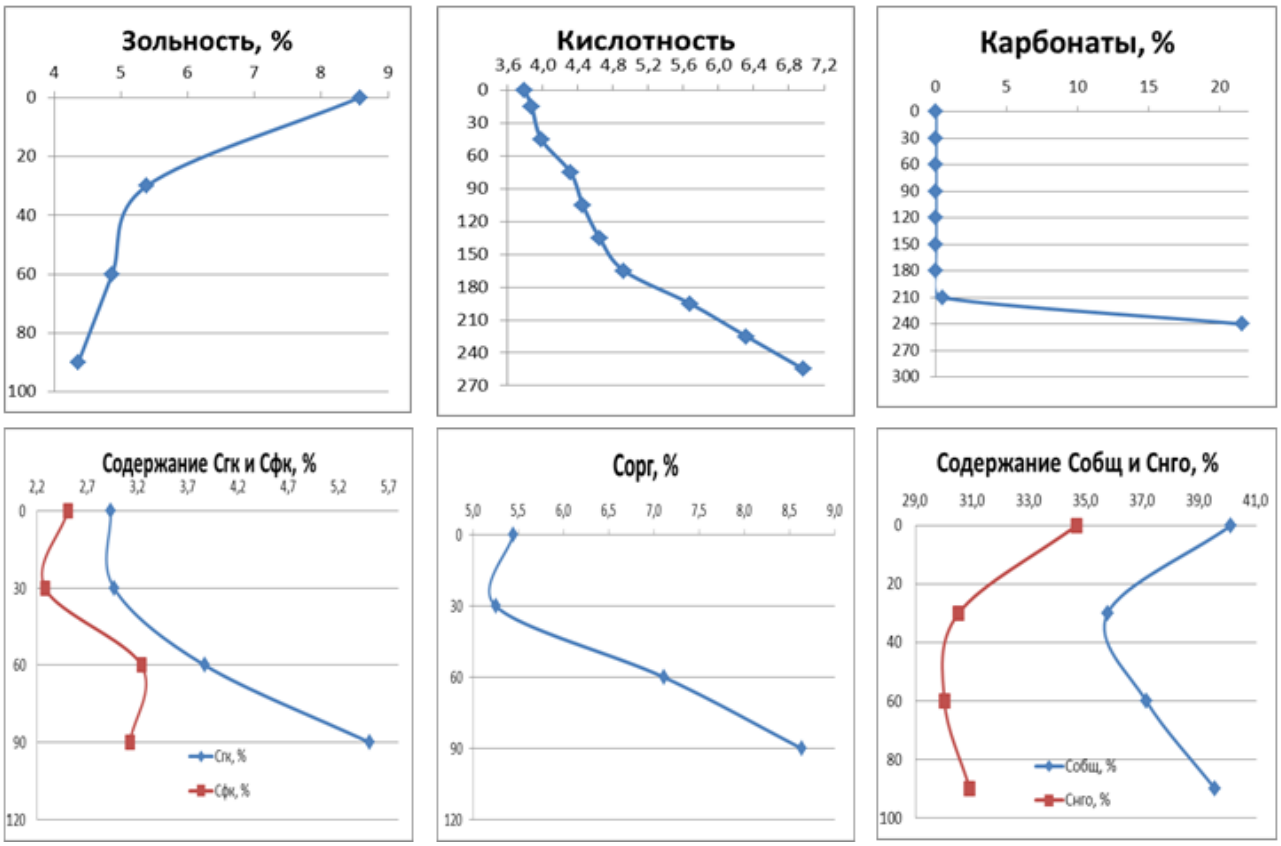

Рис. 3. Некоторые показатели химического состояния мезотрофной остаточно-эутрофной сфагновой торфяной почвы.

фульвокислот можно определить как слабо выраженное элювиально-иллювиальное. При этом содержание углерода фульвокислот мало варьирует с глубиной.

Пользуясь коэффициентом меры сопряженности, нужно отметить значительное сходство кривых распределения в верхних 90 см с мезотрофной остаточно-эутрофной торфяной почвой (Т009). Так, коэффициент по зольности для пары Т005-Т009 равен 0,76; для пары Т005-Т020 коэффициент равен 0,71. Максимальный коэффициент сопряженности рассчитан для кислотности торфов: для пары Т005-Т009 = 0,85 и Т005-Т020 = 0,88. Значимыми также являются коэффициенты сопряженности для кривых *Сорг* (r=0,66) и *Сгк* (r=0,72) пары Т005-Т009.

Отрицательный коэффициент сопряженности для пары Т005-Т009 (r = -0,6) для кривых распределения общего углерода (*Собщ, %)* говорит о разных механизмах накопления органического вещества в предыдущие годы. Так, торфяная почва на переходном болоте в зоне лесомелиорации имеет прогрессивно-элювиальный характер распределения *Собщ*, в то время как в остаточно-эутрофной почве распределение *Собщ* носит аккумулятивно-элювиально-иллювиальный характер.

Таким образом, можно утверждать, что, во-первых, почвы рассмотренных участков можно справедливо отнести к типу торфяных мезотрофных. Во-вторых, смена гидрологического режима при создании лесомелиоративных каналов в предыдущие годы

привела к ускоренной трансформации органического вещества верхних 50 см и его «сработке». Это вызвало переход от низинного типа торфяников к собственно мезотрофному (Т005). В то же время осушение участка низинного торфа (Т009) на границе с олиготрофным способствовало созданию благоприятных условий для распространения сфагновых мхов, что постепенно привело к сокращению территорий с более ценными и потенциально плодородными торфяными почвами низинного типа.

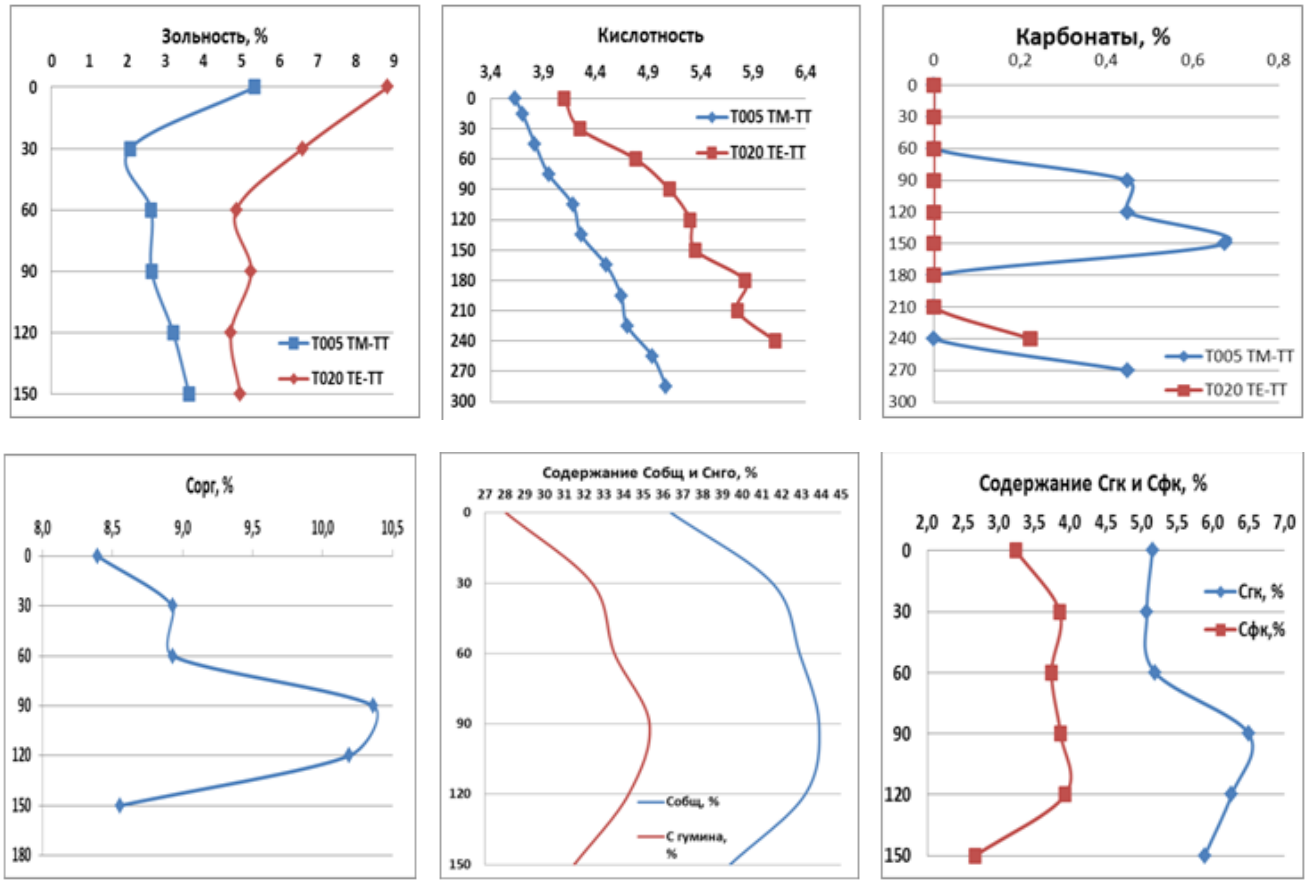

Рис. 4. Некоторые показатели химического состояния мезотрофной древесно-моховой торфяной почвы

II группа почв умеренного осушения сформирована под ботаническими экотонами – переходными участками между березово-вейниковой и черноольховой ассоциацией и представлена эутрофной низинной и перегнойно-торфяной эутрофной почвенными разностями.

Значения pH по всему профилю эутрофной низинной почвы близки к 5,8, для перегнойно-торфяной эутрофной почвы отмечается резкое увеличения значений pH по мере приближения к минеральному горизонту. Распределение карбонатов для обеих рассматриваемых почвенных разностей носит равномерно-грунтово-аккумулятивный характер. Зольность характеризуется минимальными значениями в средней части профиля и нарастает с глубиной и в корнеобитаемой зоне за счет биогенной аккумуляции (рис. 5).

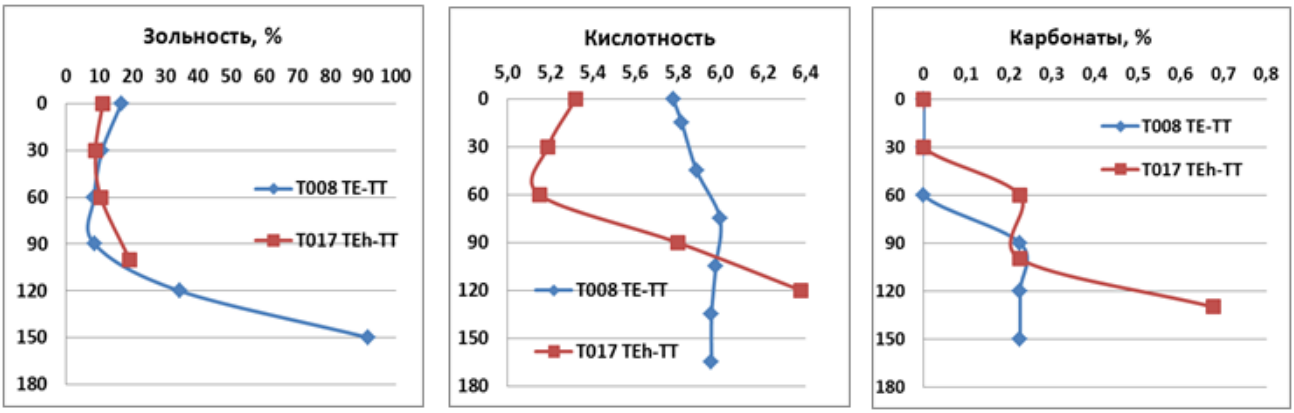

Рис. 5. Некоторые показатели химического состояния эутрофной низинной и перегнойно-торфяной эутрофной почв

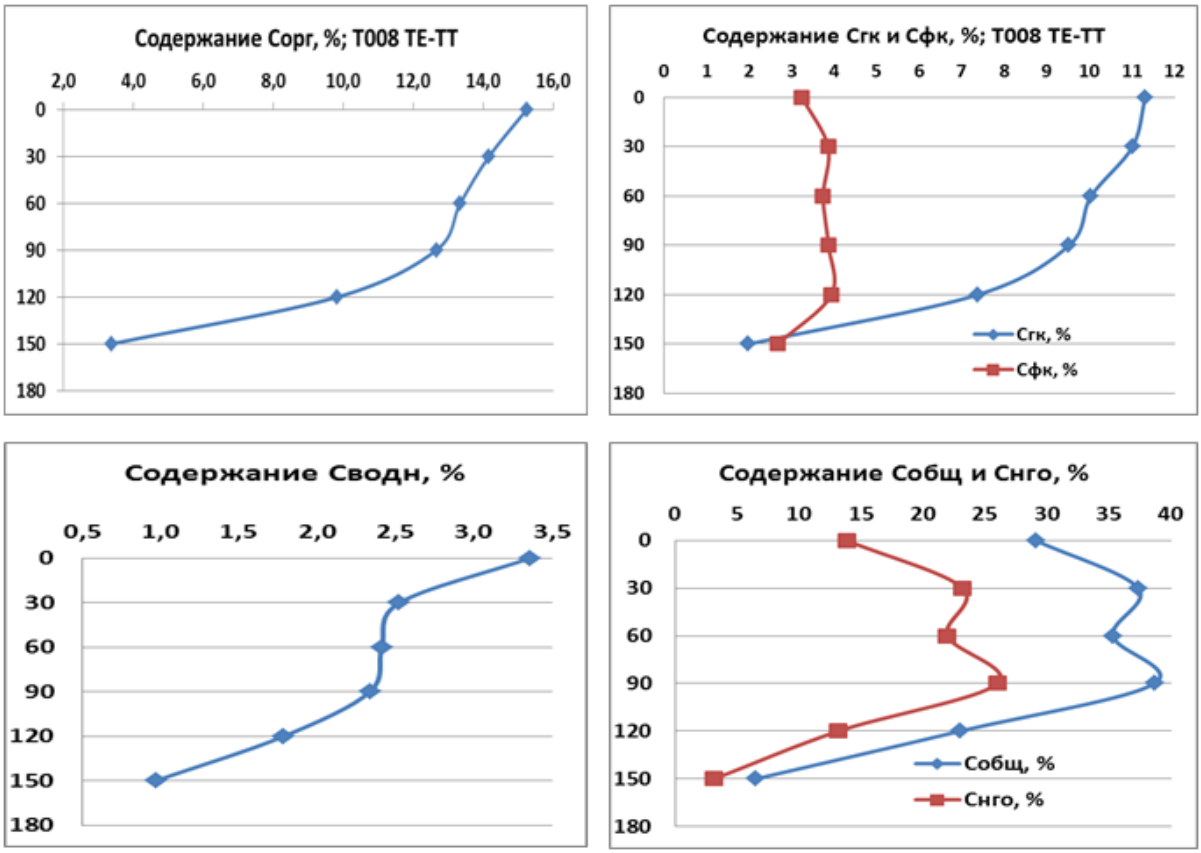

Рис. 6. Распределение по профилю содержания разных форм углерода в эутрофной низинной почве

Для эутрофной низинной почвы характерен прогрессивно-аккумулятивный характер распределения *Сорг,* слабо выраженное элювиально-иллювиальное накопление *Сгк* и *Сфк.* Кривые содержания *Сорг* и *Снго* имеют выраженный элювиальный характер с двумя выраженными пиками аккумуляции в средней части профиля (рис. 6).

Для эутрофной перегнойно-торфяной почвы также характерен прогрессивно-аккумулятивный характер распределения *Сорг*, элювиально-иллювиальный характер накопления для *Сгк* (с относительным максимальным показателем на глубине 30 см) и *Сфк* (с относительным максимумом на глубине 60 см). Распределение углерода водорастворимых органических соединений равномерно-аккумулятивное. Кривые содержания *Сорг* и *Снго* имеют выраженный элювиальный характер, но с одним максимумом аккумуляции на глубине 30см (рис.7).

Сходство кривых количественного распределения почвенных признаков по горизонтам весьма явно. Все коэффициенты меры сопряженности положительны. Наибольшим сходством обладают кривые распределения зольности (0,75), углерода гуминовых кислот (0,70), органического углерода (0,66) и углерода водорастворимых органических веществ (0,62).

Коэффициент меры сопряженности по карбонатам также является достоверным и составляет 0,56.

Надо отметить, что количество *Собщ* и *Снго* по глубинам на мезотрофных болотах заметно выше, чем в низинных. Это объясняется современным типом растительности. Хвойные породы деревьев и зеленые мхи дают больше трудногидролизуемых органических веществ и с меньшей скоростью поддаются трансформации, что и обуславливает относительно повышенное содержание углерода.

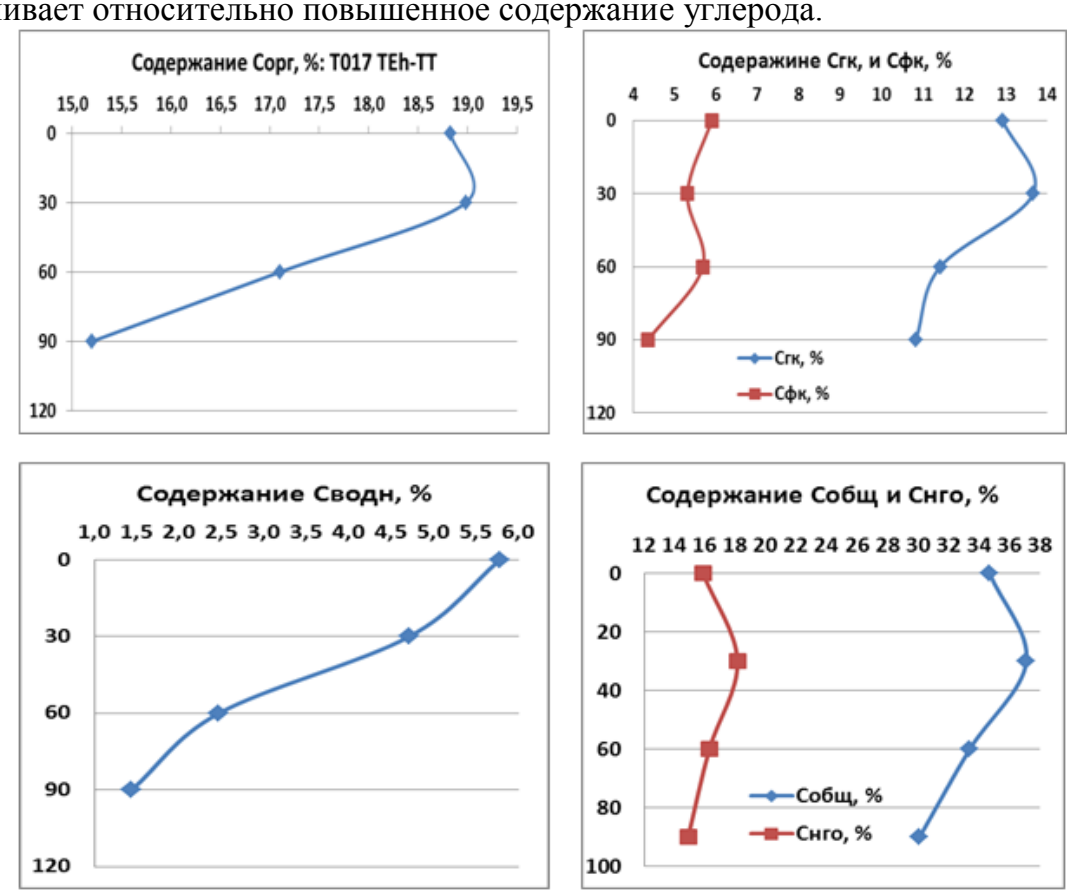

Рис. 7. Распределение по профилю содержания разных форм углерода в перегнойно-торфяной эутрофной почве

Сравнение профильных распределений на участках интенсивного осушения.

На территории выработанных торфяников в зоне интенсивного осушения также наблюдаются определенные закономерности.

Во-первых, торфяная залежь выработанных торфяников имеет близкую к нейтральной реакцию среды и слабо варьирует с глубиной. Во-вторых, отмечается относительно высокое, до 20 %, содержание золы в торфяных горизонтах, не считая торфяных пластов, непосредственно залегающих над минеральным ложем (до 85 %). Высокая зольность пойменных торфяников объясняется большим количеством наилка, привносимого, периодически, весенними паводковыми водами р. Дубны. В соответствии с классификацией почвы всех трех участков (T001, T003,T013) были отнесены к подтипу иловато-торфяных.

Распределение *Сорг, Сгк, Собщ, Снго* вниз по профилю равномерно убывает, в то время как *Сфк* и *Сводн* распределяются по элювиально-иллювиальному типу.

С учетом рассчитанных коэффициентов меры сопряженности можно говорить, что распределение почвенных показателей по профилю в иловато-торфяных почвах с участков Т013 и Т003 наиболее близко соответствуют друг другу, в отличие от пар Т001-Т003 и Т001-Т013 (табл. 3). Во-первых, пары сравниваемых участков Т003-Т013 и Т001-Т003 имеют все достоверные положительные коэффициенты сопряженности, только для пары Т003-Т013 их значения в среднем на 0,2 порядка выше. Во-вторых, количественные показатели всех почвенных свойств на иловато-торфяной почве у магистрального канала (Т001) существенно больше, что дает дополнительную погрешность при статистической обработке.

Табл. 3. Коэффициенты меры сопряженности для Т001, Т003 и Т013

Пары точек	Зольность	pH	Сорг	Собщ	Сводн
r(1-3)	0,64	0,68	0,57	0,31	0,37
r(1-13)	0,63	-0,35	0,75	0,42	0,67
r(3-13)	0,82	0,35	0,71	0,58	0,59

При анализе полученных данных отношения *Сгк:Сфк* необходимо учитывать, что за счет высокого содержания углерода в органогенных почвах и разнообразия типов органических веществ, полученные значения могут носить неоднозначный характер. Значения соотношения *Сгк:Сфк* представлены в табл. 4.

Табл. 4. Отношение Сгк:Сфк на разных типах болотных микроландшафтов

Глубина, см	Т001, TEmr-TT-DG	Т003, TEmr-TT-DG	Т005, TM-TT	Т008, TE-TT	Т009, TOte-TT	Т011, TO-TT	Т013, TEmr-TT-DG	Т017, TEh-TT
0-30	2	2,9	1,6	2,9	1,2	0,9	2,3	2,2
30-60	1,8	1,7	1,3	3,5	1,3	0,6	1,6	2,6
60-90	1,9	3,8	1,4	3	1,2	1,2	1,9	2
90-120	4,9	3,1	1,7	3	1,8		2,1	2,5
120-140	3,9	3	1,6	3			2,3	
140-170	2,2	2,5	2,2	1,4			1,9	
170-190	3,9							
станд.откл	1,31	0,68	0,31	0,7	0,28	0,3	0,28	0,26

Как видно из приведенных данных, отнести всю торфяную залежь к единому типу гумуса возможно лишь для половины рассмотренных точек. На олиготрофном болоте исследуемый массив преимущественно относится к фульватному типу гумуса. Для прилегающего мезотрофного болота с остаточно-эутрофной почвой характерен гуматно-фульватный тип гумуса в первом метре, а увеличение содержания гумусовых кислот эутрофных слоев торфа характеризуют тип гумуса как фульватно-гуматный.

Наиболее сильно с глубиной варьируют значения для иловато-торфяных почв в зоне влияния магистрального канала и водного резервуара. Резкие смены типа гумуса обусловлены, по-видимому, неравномерным содержанием карбонатов в профиле торфяных почв и подстилающих их органогенных пород.

Для торфяной мезотрофной типичной почвы в зоне лесомелиорации соотношение *Сгк:Сфк* также не имеет равномерного распределения по профилю и варьирует от фульватно-гуматного в верхней и нижней частях до гуматно-фульватного типа гумуса в средней части профиля. Для торфяных эутрофных типичных почв характерен гуматный тип гумуса.

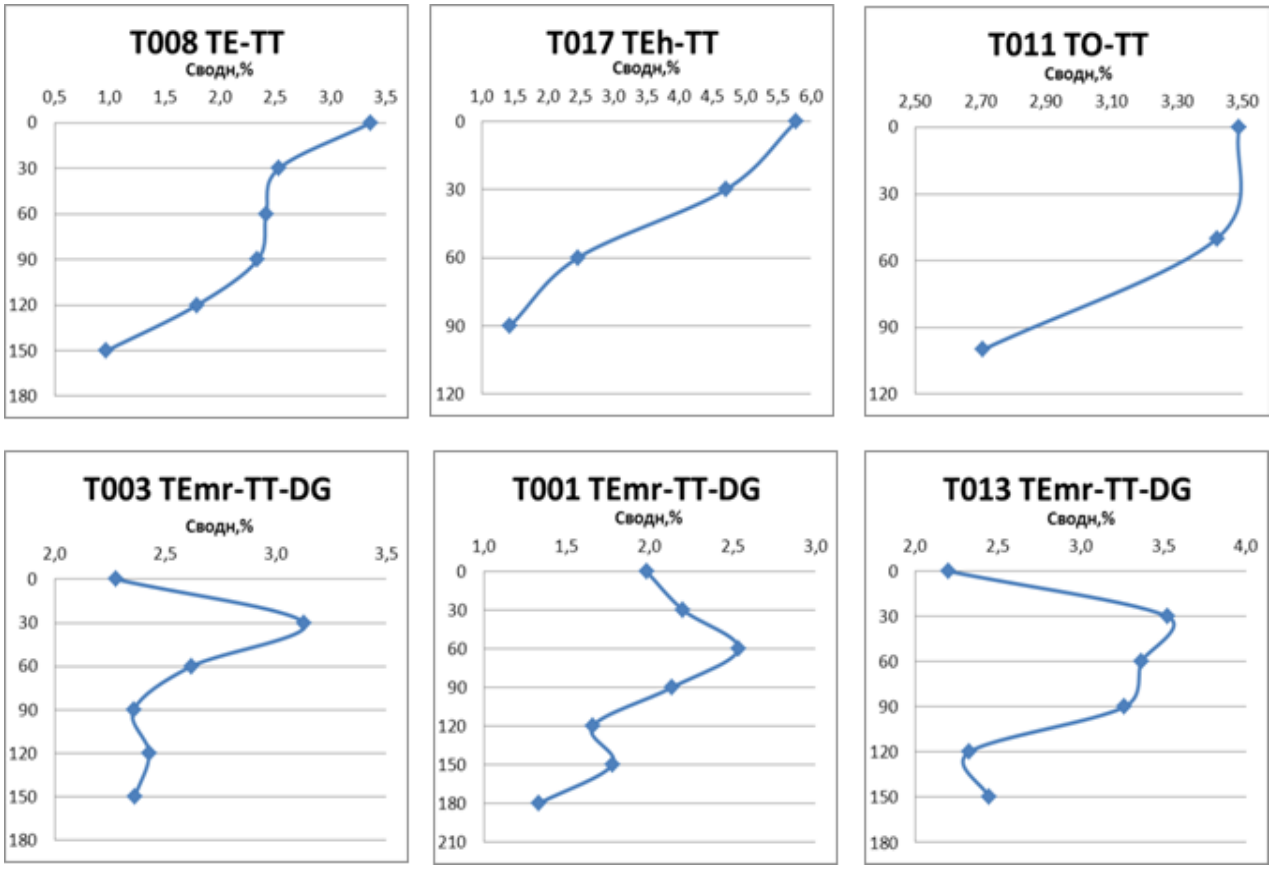

Рис. 8. Профильное распределение содержания Сводн, % в разных болотных микроландшафтах

Важно отметить, что из всех анализируемых признаков состояния органического вещества для почвенно-экологического мониторинга можно выделить содержание углерода водорастворимых органических соединений. Сравнивая профильное распределение *Сводн* на разных болотных микроландшафтах в условиях разной интенсивности осушения (Рис.8), четко выделяются иловато-торфяные почвы выработанных торфяников – это участки, которые находятся в непосредственной зоне измененных условий после реализации ФЦП по обводнению торфяников. В водную вытяжку переходят свежо образованные, наиболее лабильные и быстро разрушающиеся почвенной фауной органические вещества. Условия резкой смены восстановительных условий на окислительные определили элювиальный тип распределения *Сводн* в иловато-торфяных почвах, что говорит о наиболее интенсивном процессе потребления и переработки этих типов веществ.

Профильные распределения углерода гуминовых кислот (рис. 9) по типам болотных микроландшафтов характеризуются общей закономерностью: как бы сильно не варьировали показатели верхних 80 см, с глубины 1 метр различия постепенно нивелируются. Из этого можно сделать вывод, что наиболее глубокие преобразования почвенных свойств и режимов вне зависимости от степени осушения происходит в первом метре с поверхности, в то время, как нижележащие горизонты не испытывают

влияния зональных факторов почвообразования. Это утверждение также может быть подтверждено некоторым элювиально-иллювиальным характером накопления гуминовых кислот на глубине около 1 м, что горит о возрастной «зрелости» этих органических веществ и малой трансформации торфяной толщи с указанной отметки. Уровень в 1 метр от поверхности часто фигурирует в научных работах по вопросам осушения торфяников: многие исследователи выделяют ее как пограничную при смене окислительных условий на восстановительные. Традиционно, при разделении торфяных почв от, собственно, органогенной породы, также устанавливают порог перехода на уровне 80 см.

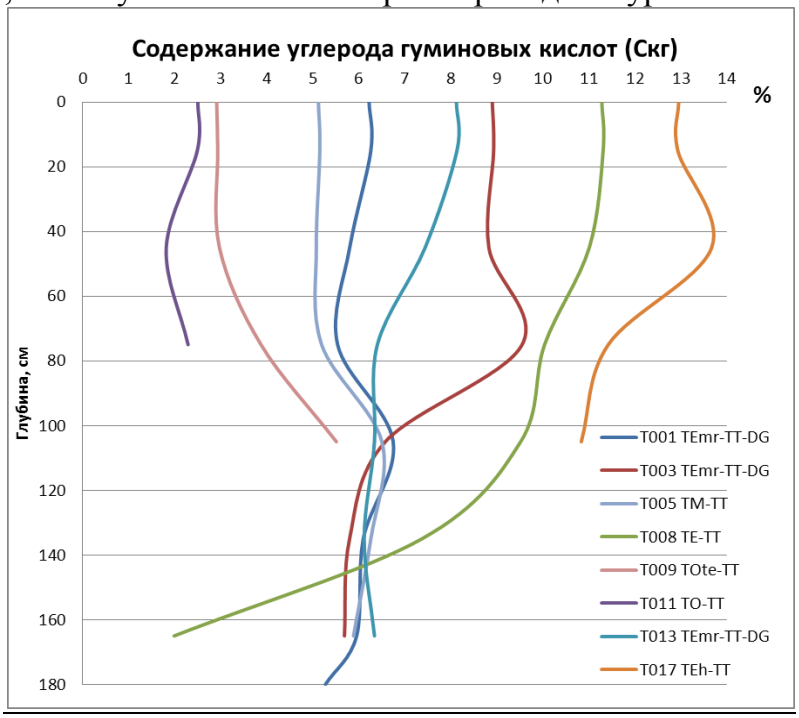

Рис. 9. Кривые распределения содержания углерода гуминовых кислот (% на навеску воздушно-сухой почвы)

Анализ данных по показателю гумификации торфа - ПГТ [8] показал, что выбранный диагностический признак явно отражает качественные характеристики органического вещества торфяной залежи и вносит существенный вклад в разделение отобранных проб по основным типам торфяных залежей. ПГТ находится в прямой зависимости от содержания гуминовых кислот, на что указывает коэффициент корреляции (R=0,84, при α=0,05).

Как можно заметить из таблицы 5, значения ПГТ для всех отобранных проб не превышают 2,2, что соответствует средней степени гумификации. Это еще раз подтверждает факт преимущественно процессов консервации органического вещества в условиях переувлажнения, а развитие окислительной обстановки приводит к синтезу новых гумусовых веществ, в том числе и к накоплению «зрелых» гуминовых кислот. Однако, эти процессы идут гораздо медленнее, чем процессы минерализации ОВ, как результат, крайне редко происходит повышение ПГТ до высокой оценки.

Табл. 5. ПГТ исследуемых почв и торфяных залежей (M±m)

Тип почвы	ПГТ	Степень гумификации
T001; TEmr-TT-DG	0,88±0,17	низкая
T003; TEmr-TT-DG	0,97±0,16	низкая
T005; TM-TT	0,74±0,06	низкая
T008; TE-TT	1,32±0,21	средняя
T009; TOte-TT	0,60±0,25	низкая
T011; TO-TT	0,27±0,10	очень низкая
T013; TEmr-TT-DG	0,85±0,21	низкая
T017; TEh-TT	1,74±0,4	средняя

Величины стандартных отклонений также мало варьируют, что говорит об относительно равномерных и одинаковых процессах трансформации ОВ в торфяных залежах, несмотря на недостаточно равномерное распределение гуминовых кислот. Максимальные показатели ПГТ наблюдаются в эутрофной типичной и эутрофной перегнойно-торфяной почве в зоне лесомелиорации. Это может свидетельствовать о более интенсивном процессе почвообразования, накоплении большего количества «зрелых» ГК и менее интенсивных процессах «сработки» торфа.

Наиболее низким значением ПГТ обладают олиготрофная типичная и мезотрофная остаточно-эутрофная почва. При этом, если олиготрофная почва во всем профиле имеет очень низкий показатель степени гумификации, то в остаточно-эутрофной почве очень низкие значения ПГТ характерны только для верхних 50 см, с глубиной ПГТ торфяных пластов немного повышается. Это еще раз доказывает возможность смены низинной растительности на олиготрофные виды и переход от низинного типа болот к переходному при нарушении гидрологического режима.

Отбор параметров для почвенно-экологического мониторинга.

Итак, сравнение наблюдений с использованием арифметических средних и дисперсий выявила неоднородность отдельных показателей как в различных горизонтах одной и той же торфяной залежи, так и по горизонтам одинаковой глубины залегания на залежах разного уровня гидромелиорации. Однако, эффект разобщенного влияния любого из показателей на состояние среды качественно и количественно отличается от их совокупного действия. В соответствии с этим, для дальнейшего почвенно-экологического мониторинга возникает потребность: а) свертывания пространства признаков, то есть описание объектов меньшим числом обобщенных показателей, чем взято изначально; б) оценки степени изменения свойств по горизонтам в условиях разной интенсивности гидромелиорации; в) выявления наиболее информативных диагностических признаков (свойств) и их совокупности с указанием нагрузок, с которыми каждый признак входит в совокупность.

Это позволит объективно оценить однородность исследуемой многомерной выборки и проверить объективность классификационной схемы торфяных почв разной степени осушения. Для решения этой задачи был применен метод главных компонент (МГК).

Методом главных компонент обрабатывались данные с максимальным числом наблюдений: реакция среды *(pH),* зольность *(Зольность),* содержание карбонатов (*CaCO3*), содержание углерода органического *(Сорг),* углерода гуминовых кислот *(Сгк),* общего углерода *(Собщ*), углерод НГО *(Снго)* и показатель гумификации торфов *(ПГТ 465*). Массив данных представляет собой значения диагностических показателей разной

степени осушения по горизонтам 0-30, 30-60, 60-90, 90-120, 120-150, 150-180. Таким образом, была получена многомерная выборка, представляющая 296 точек в восьмимерном пространстве.

В результате обработки МГК массива данных получили: 1) свертывание пространства признаков с восьми - до двухмерного; 2) упорядочение совокупности профилей в направлениях наибольшего влияния описывающих их признаков (рис. 10-12).

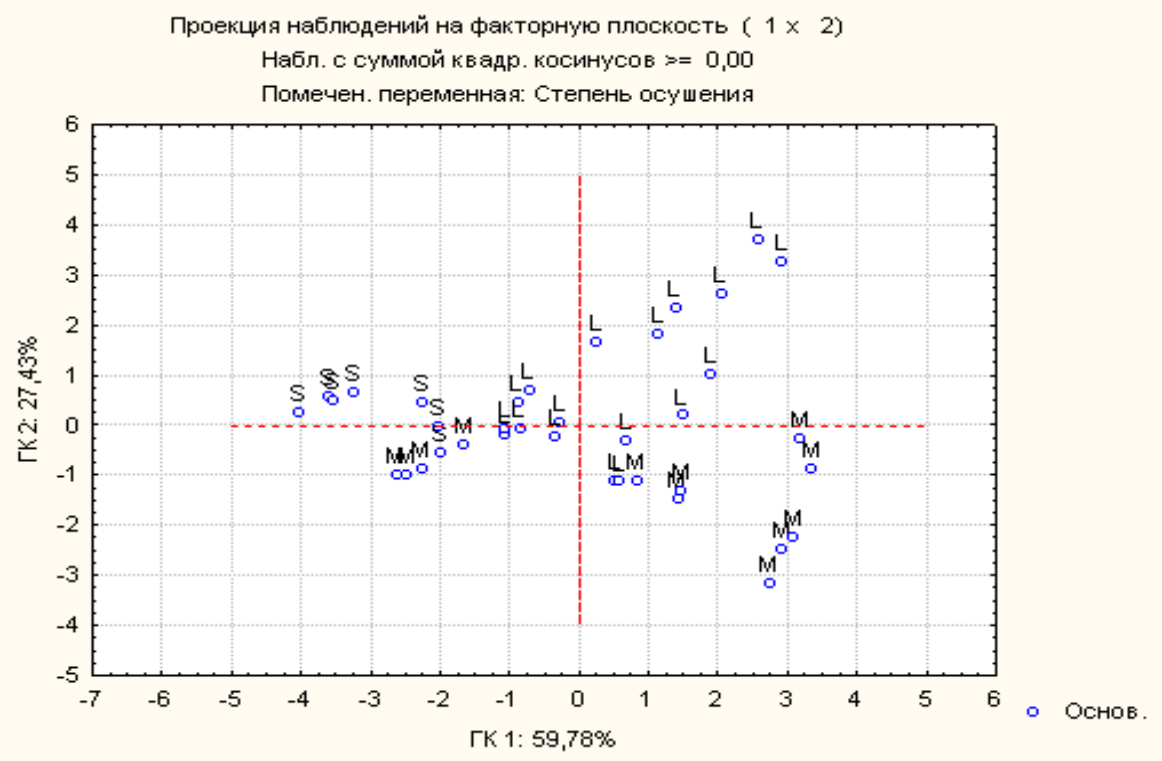

Рис. 10. МГК с разверткой по степени осушения

Как показывает анализ рисунков 10-12, особенно компактно, не пересекаясь, легли подмножества (точки) слабо и умеренно осушенных торфяников с отдельной группировкой последних рядом с кластером слабоосушенных почв, менее кучно – интенсивно осушенные территории. В кластер слабо осушенных и мало трансформированных почв попадают горизонты с глубины 30 см участка мезотрофного болота в заболоченном лесу (Т005), что говорит о малом изменении торфяных залежей и сходстве его почвенных показателей с мало осушенными территориями. Близкое расположение горизонтов от 30 до 90 см иловато-торфяной почвы в зоне влияния водонакопительного резервуара (Т003) к горизонтам эутрофных торфяных почв в заболоченном лесу (Т008 и Т017) также свидетельствует об их сходстве. Верхние 30 см мезотрофной остаточно-эутрофной почвы (Т009) по своим показателям хорошо коррелируют с горизонтами олиготрофной торфяной почвы (Т011).

Внутренняя неоднородность совокупности наблюдений в несколько большей мере проявляется по первой главной компоненте – 59,78 % общей дисперсии. Вторая главная компонента объясняет 27,43 % дисперсии. Суммарно на долю первых двух ГК приходится до 87,2 % общей дисперсии обсуждаемых показателей.

	Соб.зн.	% общей дисперсии	Кумулятивн. Соб.зн.	Кумулятивн., %
ГК1	4,78	59,78	4,78	59,78
ГК2	2,19	27,43	6,98	**87,21**

Значения элементов собственных векторов в линейном уравнении характеризуют нагрузку, которую несет каждый из выбранных показателей в данной компоненте. Так, по первой компоненте наибольший вклад в разделение осушенных торфяников вносит содержание негидролизуемого остатка (0,97) и содержание углерода гуминовых кислот (0,82), то есть является зависимым фактором от состояния органического вещества.

Вторая главная компонента наиболее тесно связана с содержание карбонатов (0,73). Это единственный показатель с относительно высоким показателем нагрузки, поэтому его можно рассматривать как дополнительный или вспомогательный.

Таким образом, по комплексу выбранных диагностических признаков подтверждена дифференциация профилей торфяных почв на интенсивно осушенные, умеренно и слабо осушенные. А также определен вклад каждого отдельного показателя в разделение торфяных залежей. На круговой диаграмме (рис. 12) отдельными кластерами

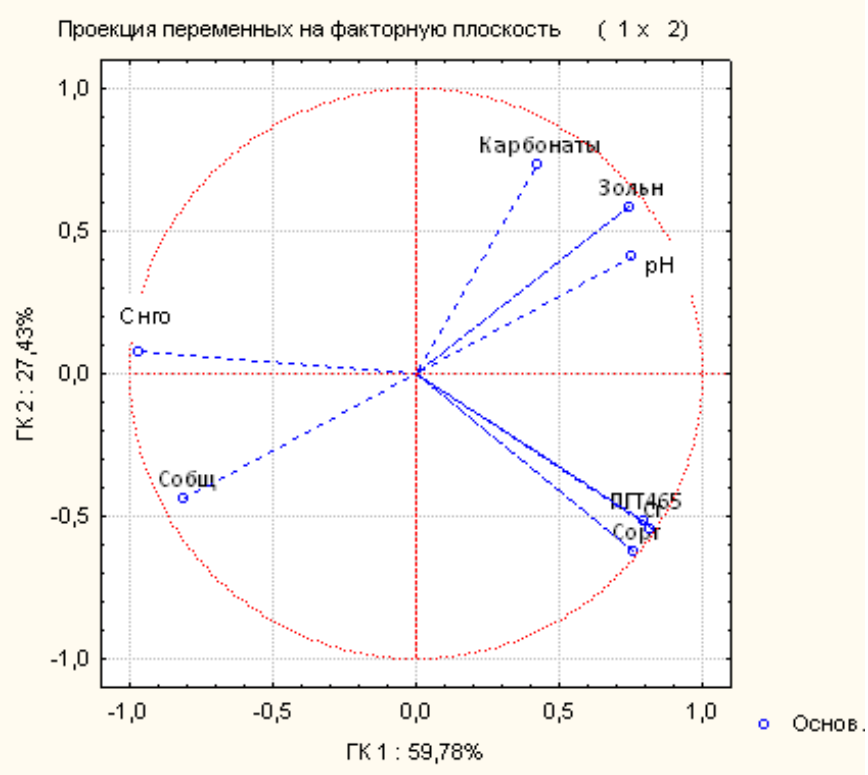

Рис. 12. МГК: Проекция переменных на факторную плоскость

выделяются показатели-индикаторы типа питания болот (зольность, pH, карбонаты) и индикаторы степени осушения (Сорг, Сводн, Сгк, ПГТ).

Характеристика минеральных горизонтов. Гранулометрический состав.

Определение гранулометрического состава методом лазерной дифракции было выполнено для верхней части подстилающих торфяную залежь минеральных грунтов и для сапропелевых горизонтов. Результаты представлены в табл. 6.

С учетом возможностей метода лазерной дифракции для определения гранулометрического состава были отобраны 9 образцов минеральной толщи, охватывающие все типы болотных микроландшафтов.

На контакте торфа с минеральной толщей резко изменяется коэффициент фильтрации и, как следствие, происходит застой влаги либо движение грунтовых вод. Это может способствовать постепенному вымыванию веществ и приводить к обеднению

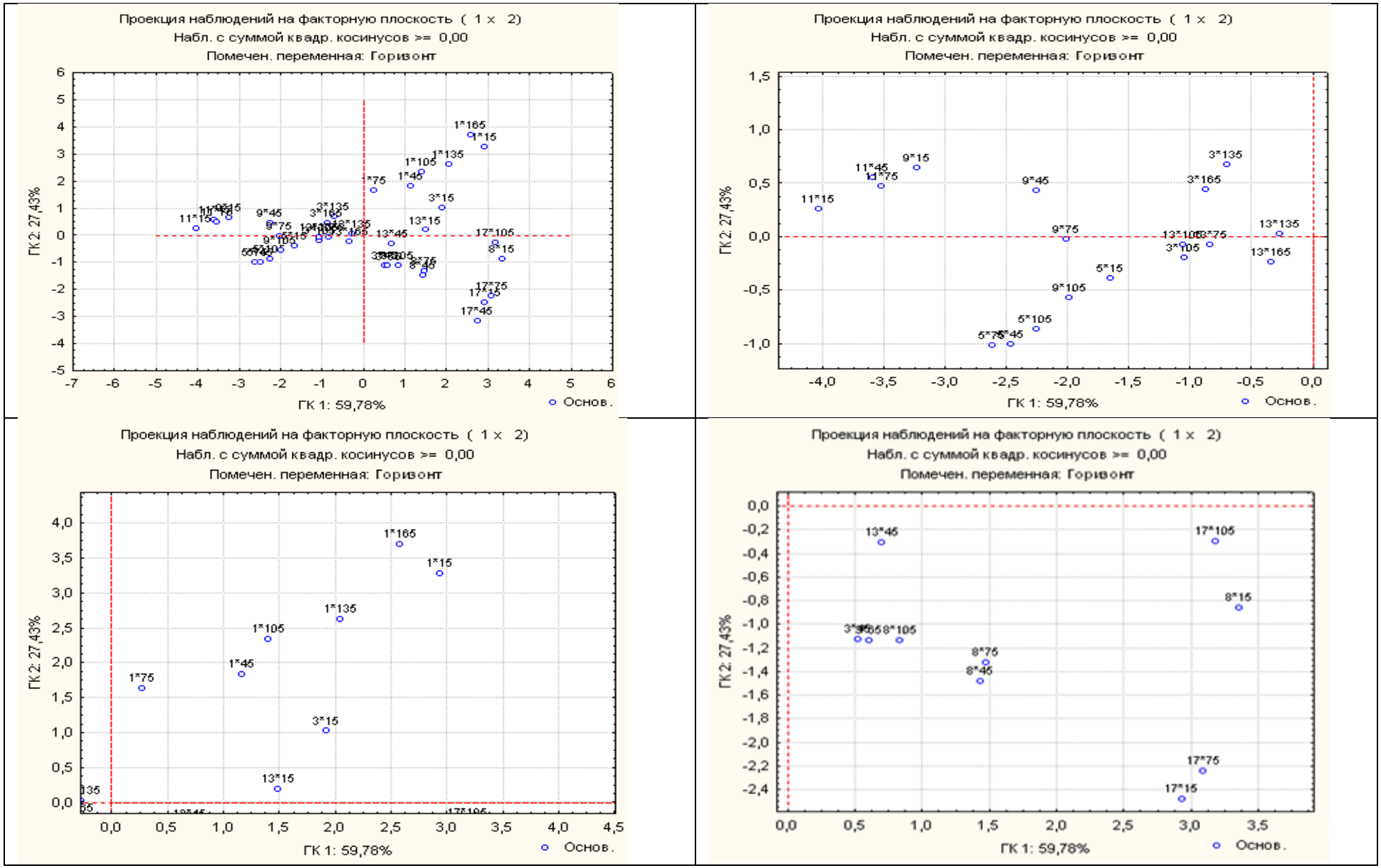

Рис. 11. МГК с разверткой по горизонтам

вышележащих 30 см слоев торфяной залежи, непосредственно залегающих на минеральной толще.

Табл. 6. Гранулометрический состав (%) верхней части минеральной толщи исследуемого участка

Почва и глубина отбора образца, см	Песок		Пыль			Ил	Гранулометрический состав по Качинскому
	средний	мелкий	крупная	средняя	мелкая		
	1,25-0,25 мм	0,25-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,005мм	0,005-0,001 мм	< 0,001 мм	
T001 TEmr-TT-DG, 210-240	0	8,52	33,88	19,53	34,57	< 3,5	глина легкая
T001 TEmr-TT-DG, 240-270	0,94	11,56	35,5	15,94	30,34	< 5,72	глина легкая
T001 TEmr-TT-DG, 270-300	0,3	6,9	41,1	17,58	29,4	< 4,72	глина легкая
T003 TEmr-TT-DG, 270-300	0,05	54,76	31,5	6,64	6,62	< 0,43	супесь
T005 TM-TT, 270-300	19,36	43,46	14,79	6,76	13,47	< 2,16	суглинок легкий
T008 TE-TT, 150-180	0	23,41	40,25	13,46	20,12	< 2,76	суглинок средний
T009 TOte-TT, 240-270	0	0	3,84	17,35	64,14	< 14,67	глина тяжелая
T017 TEh-TT, 120-150	0,63	0,31	26,12	21,51	43,44	< 7,99	глина средняя
T020 TE-TT, 240-270	20,04	28,11	26,29	8,87	14,71	< 1,98	суглинок легкий

Анализ гранулометрического состава подстилающей толщи с учетом мощности торфа в точках опробования позволил установить в первом приближении рельеф минерального дна исследуемого торфяного массива, что может в дальнейшем послужить задачам почвенно-экологического мониторинга.

Железо в исследованных почвах.

Содержание несиликатных и оксалаторастворимых форм железа было определено для минеральных горизонтов и вышележащих 30 см торфяной залежи, или сапропелевый горизонт. Определение проводили по методике Мера-Джексона и Тамма.

Железо, поступающее в торфяник любым способом, преобразуется сообразно новым условиям. Железогумусовые комплексы остаются в растворе без изменения, железо гидроокисное в условиях избыточного увлажнения, свойственного торфяникам, в значительной мере восстанавливается до закиси и связывается с органическим и радикалами; железо ионное преобразуется в железоорганический комплекс [25].

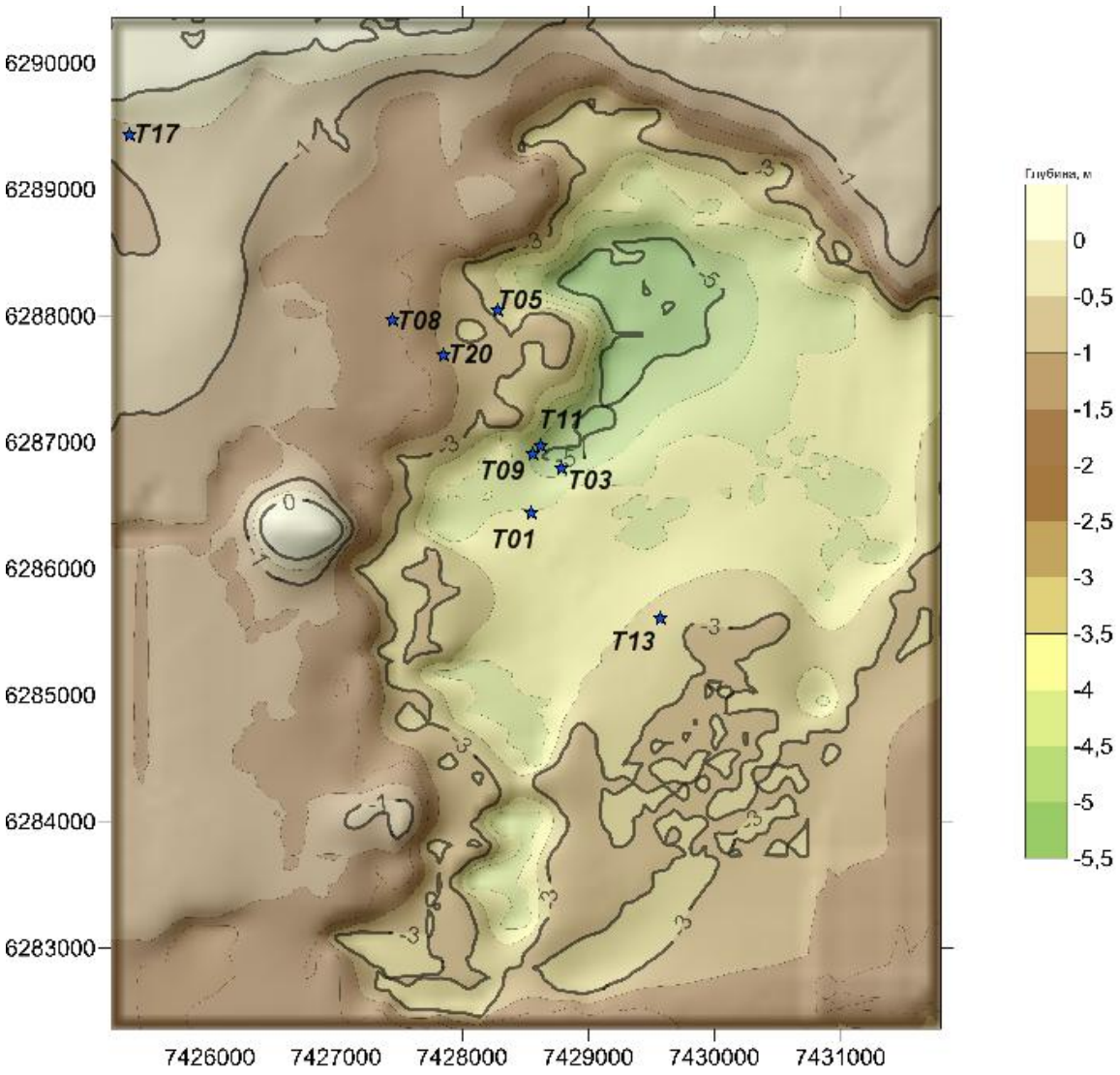

Рис. 13. План-схема глубины залегания верхней части минеральной толщи
Примечание: ед. изм.: координат – метры в относительной системе координат; легенда – метры, шаг заложения горизонталей – 0,5м

Поскольку для образования осадка железо-гумата требуется достаточно высокая концентрация железа в растворе, которая редко достигает величины, необходимой для осаждений железо-органического комплекса, то основная масса связанного таким образом железа остается растворенной и пропитывает органическую структуру торфяника, удерживаясь в поровых водах. В отдельных случаях, при постоянном и обильном поступлении железа, возможно пресыщение с образованием осадка железо-гумата, более легко подверженного процессам дальнейшего окисления.

В верхних горизонтах торфяника, входящих в зону сезонного колебания торфяных вод, окислительные процессы, вызываемые действием микроорганизмов и кислорода воздуха, приводят к разрушению железо-органических комплексов и образованию водных окисей железа, не обладающих полной обратимостью. Этот процесс усиливается

при осушении торфяника, что было отмечено в литературе при исследовании окультуренных торфяных почв.

Наряду с железом, связанным в виде комплексов с гумусовыми веществами торфа, всегда будет присутствовать железо, находящееся в более подвижной сорбционно-обменной форме. В торфяных водах низинных торфяников, питающихся за счет грунтового подтока, появление заметной концентрации фосфатного иона создает предпосылки для образования вивианитов (реакция обменного и, возможно, органно-минерального железа с фосфат-ионом) [25, 28].

Анализ литературы выявил общую закономерность в накоплении разных форм железа в торфяных почвах разной степени осушения [14, 19, 25]: в интенсивно осушенном профиле с глубиной повышается содержание подвижного железа Fe2+, понижается содержание железа, связанного с органическим веществом. На слабо осушенных торфах содержание железа разных форм (Fe2+, Fe3+, Fe орг) уменьшается с глубиной. Повышенное содержание железа в корнеобитаемой зоне обусловлено частым явлением - биогенной аккумуляцией.

Результаты наших исследований представлены в табл. 7 и, в целом, подтверждают ранее установленные закономерности.

Табл. 7 . Содержание аморфного и общего несиликатного железа в минеральных грунтах (% на навеску воздушно-сухой почвы)

Точка отбора проб и глубина, см	Feo	Fed	Fed-Feo= Fенсо
T001 TEmr-TT-DG, 210-240	2,42	3,12	0,7
T001 TEmr-TT-DG, 240-270	3,06	3,25	0,19
T001 TEmr-TT-DG, 270-300	2,9	3,26	0,36
T003 TEmr-TT-DG, 270-300	3,61	3,8	0,19
T005 TM-TT, 270-300	1,28	1,38	0,1
T008 TE-TT, 150-180	0,88	0,96	0,08
T009 TOte-TT, 240-270	1,38	0,79	-0,6
T017 TEh-TT, 120-150	2,86	3,09	0,23
T020 TE-TT, 240-270	1,04	1,06	0,02

Feo - железо аморфных несиликатных соединений, по методу Тамма; Fed - железо общее несиликатных соединений, по методы Мера и Джексона; Fed-Feo= Fенсо - железо окристаллизованное несиликатное

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенных работ были описаны почвы, приуроченные к основным формам ландшафтов, распространенных в пределах Дубненского болотного массива на момент начала функционирования системы обводнения ранее осушенных и выработанных торфяников. Дана характеристика их химических свойств, связанных с основными почвообразующими процессами, характерными для органогенных почв. Полученные данные могут использоваться в качестве точки отсчета (нуль-момента) начала трансформации ландшафтов в результате вторичного обводнения.

Показано, что при освоении торфяных почв произошла резкая смена их водно-физических свойств, что повлекло за собой изменения в скорости протекания почвенных процессов. Сформировавшись как интразональные гидроморфные органогенные почвы, будучи осушенными, они испытывают на себе большее влияние зональных факторов почвообразования.

Понижение уровня капиллярной каймы и отток грунтовых вод в ловчие и магистральные каналы приводит к снижению объемной влажности верхних пластов торфа, тем самым повышая воздухоемкость и увеличивая аэрацию. Эти процессы приводят к смене физико-химических показателей, основным из которых является окислительно-восстановительный потенциал и кислотность среды – смена режимов которых определяет способность к миграции и осаждению химических элементов.

Показано, что для диагностики степени трансформации и классификации исследуемых торфяных почв наиболее информативными являются следующие показатели:

- показатели кислотности и зольности, а также показатель степени гумификации торфов непосредственно применимы для разделения торфов на олиготрофный, мезотрофный и низинный тип питания;

- показатели содержания углерода разных типов органических соединений эффективно применимы для оценки степени трансформации торфяной залежи при смене гидрологического режима;

- выбранные диагностические признаки информативны при их определении в верхних 80-100 см; нижележащие слои в меньшей степени подвержены трансформации и полное их исследование не даст дополнительной информации.

На основании статистических методов (оценка меры сопряженности, коэффициент корреляции) было показано, что некоторые индикаторы состояния для всех исследуемых почв и болотных ландшафтов схожи однотипным характером распределения по профилю: обеднение зольными элементами средней части профиля, некоторое увеличение содержания зольных элементов в нижних слоях торфяной залежи за счет элювиально-иллювиальных процессов, а также накопление зольных элементов в корнеобитаемой зоне за счет биогенной аккумуляции. Изменение кислотности торфов с глубиной носит плавный равномерно-аккумулятивный характер. Все прочие исследуемые показатели-индикаторы глубины трансформации торфов, являются информативными только при их сравнении в рамках единой категории степени осушения.

Анализ результатов метода главных компонент наглядно подтвердил:

- целесообразность выделения группы показателей для установления классификационной принадлежности почв и группы индикаторов степени осушения и трансформации органического вещества;

- правильность разделения исследуемых объектов по степени осушения;

- целесообразность выбора пограничной отметки 80-100 см для почвенно-экологического мониторинга.

Процессы почвообразования, такие как: элювиально-иллювиальное перераспределение веществ по профилю, характер накопления органического вещества, его качественные и количественные показатели ярче всего прослеживаются в условиях умеренного осушения на низинных и мезотрофных торфах, в то время, как на

олиготрофных торфах в условиях повышенного обводнения скорость протекания перечисленных процессов максимально замедлена, преобладают процессы консервации органического вещества, слабо прослеживается дифференциация профиля по элювиально-иллювиальному типу. Характер распределения диагностических показателей в большей степени обусловлен видом растений-торфообразователей. В то же время на интенсивно осушенных торфах процессы почвообразования совмещены с активно идущими процессами минерализации и «сработки» торфяной залежи, что подтверждают профильные распределения содержания водорастворимого углерода, и пониженное содержание углерода по всем диагностическим показателям ОВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов В.С. Бернатонис В.К. Распределение кальция в торфяных залежах центральной части Западной Сибири // Почвоведение, 2006. № 3. – С. 293-302.
2. Бамбалов Н.Н., Агрогенная эволюция осушенных торфяных почв // Почвоведение, 2005. № 1 - С. 29-37.
3. Бамбалов Н.Н. Состав негидрлизуемого остатка торфяных почв // Почвоведение, 1994. №8 - С. 41-45.
4. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. Минск: Наука и техника, 1984. - 175 с.
5. Бобылев С.Н., Сидоренко В.Н. Лужецкая Н.В. Экономически основы сохранения водно-болотных угодий. – М.: Wetlands International, 2001. – 59 с.
6. Водно-болотные угодья Московской области. Природные, экономические и историко-культурные аспекты / под общ. ред. Каменновой И.Е. – М.: Wetlamds Internationa, 2008. – 89 с.
7. Войтехов М.Я. Восстановление осушенных лесо-болотных угодий (на примере Дубненского лесо-болотного массива) Проблемы. Практика. Теория. - М.: АПКиППРО, 2012. – 200 с.
8. Горелова Т.А., Особенности органического вещества торфяных, торфяно-глеевых и торфянисто-подзолисто-глеевых почв: Автореф. дис… канд.биол.наук. – М., 1982. 22 с.
9. Гостищева М.В., Инишева Л.И., Щеголихи А.И. Характеристика органического вещества торфяных почв эвтрофного болота Таган Томской области. – Томск.: Вестник ТГПУ. 2010. № 3 – С. 144-148
10. Ефимов В.Н., Василькова М.Г. К методике выделения гумусовых веществ из торфяных почв // Почвоведение. 1970. № 5. – С. 121-131.
11. Ефимов В.Н., Царенко В.П. Органическое вещество и азот торфяных почв // Почвоведение. 1992. № 10. - С. 40-48.
12. Ефимов В.Н., Воропаев В. В., Корнилова Л. И., Лунина Н.Ф., Царенко В. П. Разработка теории процесса почвообразования при антропогенном воздействии на торфяные почвы. – СПб.: СПбГАУ, Информационный бюллетень РФФИ, 3. 1995
13. Ефимов В.Н. Торфяные почвы. М.: Россельхозиздат, 1980. – 120 с.
14. Ефремова Т.Т., Овчинникова Т.М., Суховольский В.Г Многопараметрический анализ почвенных свойств лесных осушительных болот Западной Сибири // Почвоведение. 2006. № 6. - С. 657-666.
15. Ефремова Т.Т. Почвообразование и диагностика торфяных почв болотных экосистем.// Почвоведение 1992. № 12. - С. 25-34.
16. Зайдельман Ф.Р. Деградация почв как результат антропогенной трансформации их водного режима и защитные мероприятия // Почвоведение, 2009. № 1.
17. Зайдельман Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. – М.: Колос, 2008. – 486 с.

18. Зайдельман Ф.Р. Вторичное заболачивание почв, их деградация, диагностика и защита.// Почвоведение, 1998. № 3. - С. 321-327
19. Зайдельман Ф.Р. Минеральные и торфяные почвы полесских ландшафтов: Генезис, гидрология, агроэкология, мелиорацияб защита от пожаров торфяников и лесов, рекультивация. – М.: КРАСАНД, 2013. – 440 с.
20. Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П., Павлова Е.Б., Головин С.Н. Скорость биохимического разложения оргнаического вещества осушенных почв при разных способах пескования // Почвоведение. 1997, № 9. - С. 1148-1156.
21. Инишева Л.И., Аристархова В.Е., Порохина Е.В. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. - Томск, 2007. – 177 с.
22. Караваева Н.А. Заболачивание и эволюция почв. М.: Наука, 1982. 296 с.
23. Классификация почв СССР. / Под ред. Егорова В.В., Фрадланда В.М., Иванова Е.Н. – М.: изд-во «Колос», 1977. – 225 с.
24. Классификация и диагностика почв России. / Под ред. Шишова Л.Л., Тонконогова В.Д. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
25. Ковалев В.А., Генералова В.А. О взаимодействии гуминовых и фульвокислот торфяных почв с железом // Почвоведение, 1967, №9. – С. 135-143
26. Кононова М.М, Бельчикова Н.П. Ускоренные методы определения состава гумуса минеральных почв // Почвоведение. 1961. № 10. - С. 75-87.
27. Кузнецов О.Л. Основные методы классификации растительности болот. – Петрозаводск. Ин-т Биологии Карельского научного центра РАН, 2005. – 29 с.
28. Маслов Б.С. Мелиорация торфяных болот. Томск: Изд-во Том. гос. педун-та, 2007. – 24 4с.
29. Лупинович И.С. Изменение физико-биохимических свойств торфяно-болотных почв под влиянием мелиорации и сельскохозяйственного использования // Почвоведение, 1968. №6. - С. 63-76
30. Руководство по Рамсарской Конвенции 4-е издание. – Секретариат Рамсарской конвенции, 2006 г. – 150 с.
31. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И., Органическое вещество почв Российской Федерации. – М.: Наука, 1996. – 256 с.
32. Почвенно-экологический мониторинг и охрана почв: Учеб. пособие / Под ред. Орлова Д.С., Васильевской В.Д. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 272 с.
33. Плоткина Ю.М. Органическое вещество торфяно-болотных почв // Почвоведение. 1979. №6. - С. 42-52
34. Рожков В.А., Рожкова С.В. Почвенная информатика. - М.: Изд-во МГУ, 1993 – 192 с.
35. Симаков В.Н., Цыпленков В.П., Морина Л.Е. Изменение содержания и состава органического вещества в мелиорируемых торфяно-болотных почвах // Почвоведение. 1975. № 6. - С. 87-95.
36. Скрынникова И.Н. Классификация целинных болот и мелиорированных торфяных почв СССР // Почвоведение. 1964. № 5. - С. 14-26.
37. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. Изд. 3-е. – М.: «Недра», 1976. – 488 с.
38. Auswertung der Veränderungen des Bodenzustands für Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) und Validierung räumlicher Trends unter Einbeziehung anderer Messnetze. Teil A: Methoden-Code und Umgang mit Verfahrenswechseln. / C. Kaufmann-Boll, S. Lazar, C. Schilli, J. Rinklebe, 2011 – 339s. http://www.uba.de/uba-info-medien/4232.html.
39. European Soil Bureau (ESBN) / European Commission - Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Last
updated: 8/11/2010, http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/esbn/Esbn_overview.html.