

ОД
ЕДИНАЯ ГИДРО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРОФ. А. Д. ДУБАХ

О Ч Е Р К И
ПО ГИДРОЛОГИИ БОЛОТ

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ ЦУЕГМС
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ЛЕНИНГРАД • 1936

551.48

Д. 79 о. п.

523047

ЕДИНАЯ ГИДРО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА СС
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

551.49/071

Д-79

ПРОФ. А. Д. ДУБАХ

40

ОЧЕРКИ
ПО ГИДРОЛОГИИ БОЛОТ

3179

БЕЛОРУССКОЙ
БИБЛИОТЕКА
551.481.2
Д. 79 о. п.
523047
АКАДЕМИИ

К.

БИБЛИОТЕКА
при Секретариате
НКЗ-СССР

599 абор

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ ЦУЕГМС ССР
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД • 1936

В книге А. Д. Дубаха—Очерки по гидрологии болот, рассматриваются величины испарения со сфагнового покрова в сопоставлении с испарением с других поверхностей. Особенное внимание уделено уровню грунтовой воды на болотах: сезонные колебания уровня, снижение в периоды бездождя и повышения после дождя. Приводятся материалы по фильтрации воды в торфяных грунтах.

Книга рассчитана в основном на научных сотрудников и может служить также в качестве учебного пособия для студентов университетов и горных вузов данного цикла.

Гидрологическая специфичность объекта

Болото является совершенно специфичным объектом среди ландшафтов земного шара; оно резко отличается от суши и от водоемов своими гидрологическими свойствами, своим происхождением и условиями эксплуатации.

Содержа в себе в нормальном состоянии от 89 до 94% воды по весу и всего лишь, следовательно, от 11 до 6% сухого вещества, торфяное болото является несомненным водоемом, как бы озером; удельный вес торфяной залежи в состоянии нормального насыщения ее водою равен единице, т. е. равен удельному весу воды.

Но условия движения воды в болоте резко отличаются от условий движения воды в водоеме: вода в болоте связана сухим веществом торфа; осушительными канавами и дренами нельзя уменьшить содержание воды в торфяном болоте ниже 85%, и лишь испарение вызывает дальнейшее снижение содержания влаги в торфяном грунте.

Следовательно, хотя сухое вещество находится в торфяном болоте в очень малых количествах по сравнению с водой, но все же именно сухое вещество торфа включает в себе воду, удерживает ее, а не наоборот. Этим свойством удерживать влагу торфяное болото резко отличается от озера, где вода свободно может быть спущена или выкачана начисто.

Таким образом болото можно охарактеризовать двояко: или это озеро, но со связанной водой, или это суша, но содержащая обычно более 90% воды и менее 10% сухого вещества; обе характеристики парадоксальны.

Но и в других направлениях легко видеть специфичность болот. Озеро в значительной мере полезно своей водой как средой для жизни животных, как средством сообщения и как запасом механической энергии. Болото же может быть использовано лишь в своем сухом веществе, после частичного удаления из него воды как вредной составной части; болотная площадь становится полезной для полного сельскохозяйственного использования лишь тогда, когда она теряет часть своей воды. Поэтому гидрологически торфяное болото есть несомненный водоем, эксплуатационно же—несомненная суша.

Наконец двойственность „природы“ болота ясно выявляется в генезисе этого объекта.

Торфяное болото образуется двояко: на месте бывшего водоема путем зарастания его водными и водолюбивыми растениями и на месте бывшего минерального грунта нарастанием на нем травяной растительности в условиях замедленного разложения органического вещества. В обоих случаях конечной стадией в понимании данного геологического времени является сфагновое возвышенное болото с одинаковым характером растительности и рельефа независимо от происхождения; озерное или материковое происхождение болота в этом случае возможно установить путем исследования рельефа дна болота.

Сочетая изложенное, можно предварительно сформулировать, что торфяное болото является несомненным аккумулятором воды на суше, весьма несовершенно отдающим эту воду как в атмосферу путем испарения, так и в реки путем поверхностного и грунтового стока.

Всестороннее изучение болот, посильное лишь координированному комплексу специалистов или учреждений, распадается на следующие разделы:

1. Микроклимат болота и района: испарение, влажность воздуха, температура воздуха, температурный режим болота на разных глубинах, движение воздуха.

2. Биология болота: растительные сообщества и смена их, нарастание болот в высоту и разрастание по периферии.

3. Стратиграфия и геология болота: строение залежи, разложение торфа, возраст; физика и химия торфа.

4. Гидрология болота: источники водного питания болот, влагоемкость болот, уровень грунтовой воды в зависимости от сезона и выпадения осадков, движение воды в залежи, внешний сток.

5. Гидрохимия болота: химизм болотных вод, действие вод на рыб, на растительность, на строительные материалы.

6. География и статистика болот.

7. Мелиорация и эксплуатация болот. Этот раздел состоит из отдельных курсов: а) осушение болот, б) сельскохозяйственная культура на болотах, в) торфодобывание.

Настоящий очерк посвящен лишь вопросам гидрологии болот.

Пункты и время наблюдений

Для составления настоящего очерка по отдельным элементам гидрологической жизни болот послужили, помимо имевшихся в литературе материалов, еще не опубликованные до последнего времени записи наблюдений по ряду станций и опорных пунктов по культуре болот, а также двух специальных гидрометрических болотных станций.

Из многих пунктов, производивших в до- и послереволюционное время наблюдения на болотах над уровнем грунтовых вод, при составлении настоящих очерков удалось использовать записи следующих пунктов (табл. 1):

Таблица 1

Название пункта	Местонахождение	Годы наблюдений	Учреждение, откуда получен материал
Новгородская болотная станция	Близ г. Новгорода	1929—1933	Сев.-зап. научно-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации
Замошский опорный пункт	Ленинградская область	1924—1932	То же
Волховский опорный пункт	Ленинградская область	1926—1932	То же
Онцевский пункт	В 70 км южнее Ленинграда по ж. д. на Витебск	1933—1934	Наблюдения ГГИ
Токсовское болото	В 30 км севернее Ленинграда, по ж. д. на станции Токсово	1933—1934	То же
Оршинское болото	Калининский район	1909—1916	Архив ГГИ
Раменское болото	Московская область	1909—1914	То же
Галицкий мох, торфяная опытная станция	Редькино, между Москвой и Калининским	1928—1930	Торфяная опытн. станция
Марьинское болото	БССР, бассейн р. Птичи	1928—1932	Союзный Ин-т болотного хозяйства в Минске
Загальское болото	То же	1932—1934	То же
Погонное болото	БССР, бассейн р. Припяти	1930—1934	То же
Болото Полота	БССР, Полоцк	1931—1933	То же
Комаровское болото	Возле Минска	1928—1934	То же

По каждому из перечисленных пунктов наблюдений ниже дается краткое описание положения болота и типа его.

Новгородская станция по культуре болот находится на болотном массиве в 16 км севернее Новгорода, при железнодорожной остановке Болотная. Первоначальное осушение болота было произведено лет за 20 до 1914 г. (точно неизвестно), с расстоянием между канавами около 380 м. В 1914 г. при основании здесь Болотной опытной станции на соответствующей части болотного массива было произведено детальное осушение открытыми канавами. В 1928 г. на еще меньшей площади было произведено осушение фашинным дренажем, где производились ежедневные наблюдения над уровнем грунтовой воды, использованные для настоящей работы.

Мощность торфа—около 1 м; анализ его свидетельствует о суходольном происхождении болота, так как от самого низа и до верха в нем находятся древесные остатки, заключенные в торф главным образом осокового происхождения, и, судя по большому количеству остатков крупных стволов и пней, самое заболачивание началось уже в лесу.

Сфагнум на поверхности болота начал появляться, по видимому, незадолго до осушения, и болото, по типу растительности низинное, начало обращаться в переходное; ассоциация сфагнум—береза—осока.

Ботанический анализ торфа, произведенный в 1926 г., показал следующий состав его по горизонтам (табл. 2):

Таблица 2

Глубина слоев см	Ботанический анализ торфа	Разложение
0—15	Древесный с примесью осоки, коры березы	Средне хорошее
15—30	Древесный с примесью осоки (<i>S. rostrata</i> , <i>S. lasiocarpa</i>), вахта, тростник	Хорошее
30—45	Древесно-осоковый с примесью тростника, хвощ, пушица, гипнум	Среднее
45—60	Древесный, кора березы и сосны. Осока, хвощ, гипнум	Хорошее
60—75	Хвощево-древесный; кора березы, сосна	Хорошее
75—90	Кварцевый песок, примесь древесины и хвоща	Хорошее

Полная влагоемкость торфа определена в 806—880% от сухого вещества.

Торф подстилается зеленоватыми и голубоватыми глинами, лежащими на материковой породе—моренных суглинках с валунами. Выход ключевых вод не имеется.

Замошский опорный пункт. Переходное болото. Замошский опорный пункт заложен среди обширных заплюских болот, общая площадь которых превышает 22 000 га. В период 1905—1908 гг. здесь проведена экстенсивная осушка болота с расстоянием между канавами до 400 м.

В 1912 г. начаты небольшие интенсивные осушительные работы на площади в 2 га для Опорного пункта, и в последующие годы осушенная площадь была увеличена до 20 га. С первого года были начаты наблюдения за грунтовыми водами, но с 1916 г. они были прекращены до 1924 г., когда Опорный пункт перешел в ведение ЛЕНОМСа; материалы по наблюдениям до 1924 г. утеряны.

Зондировкой в 1925 г. установлено, что мощность торфа на площади Опорного пункта колеблется от 1,40 до 7,5 м.

Территория Опорного пункта до осушения в 1905—1908 гг. представляла собою типичное переходное болото. Растительный покров в основном состоял из

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В ТОРФЯНОМ БОЛОТЕ

Торфяная залежь, как уже указывалось, является совершенно специфичным геологическим образованием суши с содержанием воды в ней в количестве, почти равном объему этой суши.

Так, на II Гидрологическом съезде, состоявшемся в 1928 г. в Ленинграде, И. С. Розанов доложил следующие вычисленные им огромные запасы воды в болотах Переяславль-Усольского массива, по исследованиям в августе 1926 г. (табл. 3)

Таблица 3

Название болота	Воды в 1 м ³ сырой залежи кг	Максим. влажность торфа %	Миним. влажность торфа %
Половецко-Купанское верховое .	928	96	91
Машаровское переходное	906	94	86
Талицко-Плещеевское низинное .	855	94	80

Следовательно, максимальное содержание воды в торфе доходило до 96% в верховом болоте и до 94% в низинном.

Однако эти цифры, как и приводимые ниже, показывают содержание влаги в торфе, именно влажность извлекаемого из болота торфа, а не содержание воды в болоте. Цифры указывают, следовательно, полную влагоемкость торфа, а не действительное содержание воды в торфяном болоте, которое может быть и больше и меньше полной влагоемкости.

Содержащуюся в торфяном болоте воду можно разделить на две фракции, отличающиеся по характеру связи с залежью торфа: 1) вода свободная, отделяющаяся от торфа под действием силы тяжести и, следовательно, стекающая по уклону в каналы и реки; 2) вода, связанная с сухим веществом торфа, не отделяющаяся от него под действием силы тяжести.

Свободная вода

Вода свободная разделяется, в свою очередь, на ряд существенно различных категорий.

Прежде всего болоту свойственны постоянные водоемы—озера и водотоки рек, питающиеся водой атмосферных осадков, выпадающих на болото, а также иногда грунтовой водой, выклинивающейся по периферии болота. Озера и речки по болоту могут быть первичного происхождения, существовавшие еще до образования болота, имеющие поэтому минеральное дно, и вторичного происхождения, образовавшиеся в результате дифференцировки, расчленения поверхности торфяного болота как следствия необходимого стока избыточной воды с заторфовавшейся площади. Вторичные озера и русла вторичных ручьев в начале своего образования являются след-

ствием уменьшенного нарастания мохового покрова в местах скопления застаивающейся или медленнодвигающейся воды на болоте.

Примером скопления озер на болоте является Оршинский массив Калининского района (рис. 1).

Вода озер и рек на болоте входит в состав элементов постоянного ландшафта наряду с растительностью и рельефом, дающими болоту определенный внешний вид, запечатлеваемый съемкою во всякое время лета.

Аналогичное значение имеют небольшие по площади, но многочисленные скопления воды на сфагновом болоте мочажинной стадии развития; мочажинные воды,

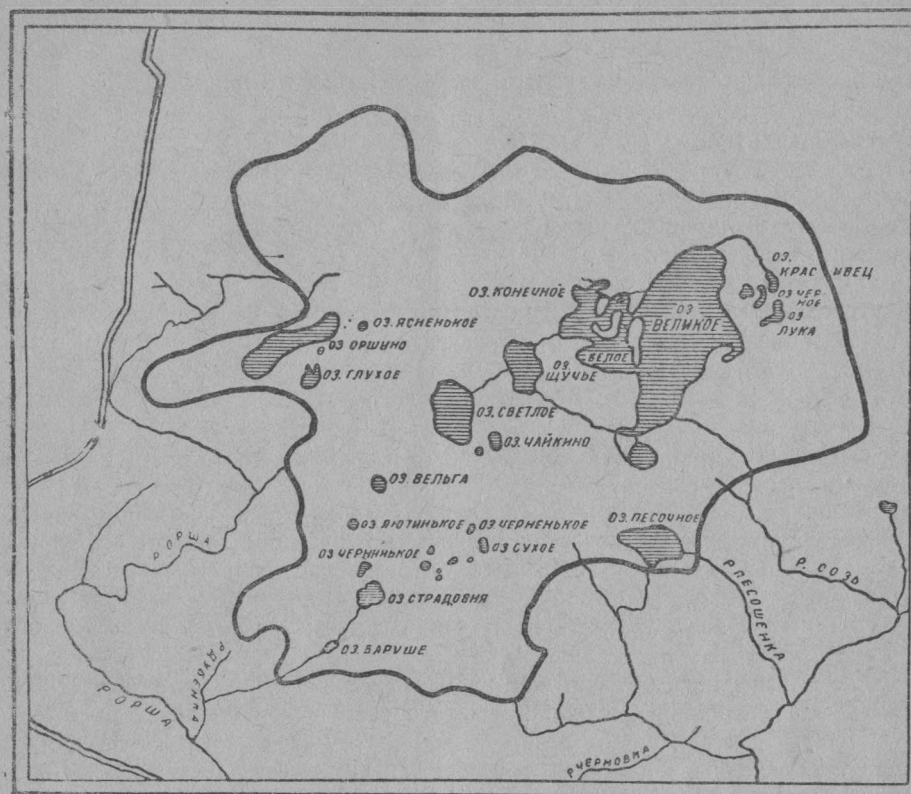


Рис. 1. Оршинское болото.

разделяемые грядами слабо разложившегося торфа, создают свой пестрый, часто полосатый ландшафт, меняющийся по интенсивности в зависимости от выпадения атмосферных осадков.

Иной характер имеют воды, покрывающие части поверхности болота после сильных дождей и снеготаяния, сток которых замедляется из-за незначительности уклона поверхности и из-за большого сопротивления мохового и травяного покрова движению поверхностной воды. Это вода временная; при наличии естественных и искусственных русел она быстро стекает с поверхности болота и постоянного ландшафта не создает. Сюда же относятся воды пришедшие из реки при паводковом подъеме горизонта ее.

Особым видом свободной воды в болоте является вода, находящаяся под торфяным слоем, держащая этот торф „на плаву“; эта вода находится в непосредственном соединении с водою открытого водоема, если часть его осталась еще незаторфовавшейся.

Далее, свободная вода иногда находится в болоте еще в виде линз или водяных мешков внутри торфяной залежи, а также в виде внутризалежных потоков, жил, о чем будет сказано еще в разделе о движении воды в торфяной залежи.

Начонец переходной между свободной и связанной водой является вода, содержащаяся в промежутках диаметром более 1 мм между веществом торфа; эта вода медленно в течение месяцев уходит под действием силы тяжести из торфяной залежи при наличии дренирующих русел. При взятии образцов торфа эта вода извлекается вместе с образцом, но легко отжимается из него; при определении влажности торфа эта вода в значительной мере входит в состав влагоемкости, тогда как остальные ранее перечисленные категории свободной воды в состав понятия влагоемкости торфа не входят. Эту воду называют „гравитативной“, от латинского слова, обозначающего „тяжесть“, так как под действием силы тяжести эта вода медленно движется в торфяной залежи к пониженным местам. Встречается и иное наименование — „окклюзионная“ вода. Поверхность гравитативной воды образует собою уровень грунтовой воды в залежи.

Таким образом, следует различать шесть категорий свободной воды на болоте:

- 1) создающая макрорландшафт—озера и реки;
- 2) создающая микрорландшафт—заполняющая мочажины;
- 3) временная поверхностная от снеготаяния, дождей и заходящая из реки;
- 4) подторфяная, держащая торф как плавающее тело;
- 5) внутризалежная линзовая и жильная;
- 6) гравитативная (окклюзионная), образующая уровень грунтовой воды в торфянике.

Связанная вода

Вода связанная находится в таких условиях, что не может быть извлечена из торфа помощью осушительной сети. Эту воду делят на следующие подкатегории:

- а) капиллярная, находящаяся в узких пустотах между волокнами и частицами торфа, передвигающаяся по пустотам независимо от силы тяжести вверх и вниз; но эта вода легко удаляется из торфяного болота испарением через растительность и с поверхности торфа;
- б) коллоидальная вода, удерживаемая гелями гумуса; удаляется при высушивании торфа;
- в) осмотическая, находящаяся внутри неразрушившихся растительных клеток; может быть удалена лишь после химического разрушения оболочек растительных клеток;
- г) гидратная, входящая в вещество торфа как химическая составная часть.

Имеется и другая классификация связанных вод в торфе. Так, по предложению проф. Г. Л. Стадника¹ всю ту воду, которую торф удерживает в себе при отжимании, следует называть коллоидально-связанной. Ту часть коллоидально-связанной воды, которая теряется при хранении торфа в пространстве, насыщенном водяным паром, следует называть имbibационной, а остающуюся после этого в торфе воду—адсорбционной водой.

Большую популярностью пользуется деление связанной воды в торфе на капиллярную, коллоидную и осмотическую.

Наибольшее количество воды, которое может быть удержано грунтом и в частности торфом в своих порах, называется полной влагоемкостью почвы; в курсах почвоведения оно выражается в процентах от веса сухого вещества почвы. В состав влагоемкой воды в какой-то доле входит гравитативная вода; при извлечении образцов торфа из залежи часть гравитативной воды стекает, часть остается в образце.

Количество связанной воды, фактически находящейся в торфе, соответствует понятию „влажности“ торфа и выражается обычно в процентах от всего веса рас-

¹ Стадников. Химия торфа, 1932.

сматриваемого торфа, вместе с содержащейся в нем водою. Например, если полная влагоемкость торфа определяется в 800%, то содержание воды в нем при этом равно 88,9% от совместного веса воды и торфа, а содержание сухого вещества—11,1%. В курсе почвоведения проф. Сибирцева указана следующая полная влагоемкость различных почв (в процентах от сухого вещества).

Тяжелый перегонный суглинок	35,25
Серый суглинок	31,95
Светло-серый легкий суглинок	34,48
Супесь	21,72
Слабо глинистый песок	18,3
Торф травяной и лесной	300—700
Торф моховой	до 1000

Взяв из справочников веса вышеприведенных грунтов в условиях насыщения водою, вычисляем следующие количества воды, содержащейся в 1 м³ грунтов при полном насыщении их:

В песке	250 кг
„ супеси	336 „
„ суглинке	620 „
„ торфе травяном	750—875 „
„ торфе сфагновом	около 910 „

Из приведенных цифр видно, что из всех грунтов сфагновый торфяник наиболее богат водою не только в процентах относительно сухого вещества, но и абсолютно по расчету на единицу объема грунта. Для сравнения интересно указать, что свежесрубленное дерево содержит 50% воды и 50% сухого остатка.

Для суждения о водных свойствах торфяного грунта как среды для произрастания растений необходимо отметить еще подчеркиваемую агрохимиками и агрофизиками гигроскопическую воду. Это та вода, которая обволакивает пленчатым слоем поверхность частиц почвы и недоступна для принятия корнями растений. Гигроскопичность грунта определяется практически тем количеством воды, которое сухой грунт может поглотить из воздуха, насыщенного парами воды; это соответствует адсорбционной воде, указанной выше. Богатство почв органическими веществами увеличивает гигроскопичность, так как перегной, находясь в дисперсионном мелкое раздробление) состоянии, имеет очень большую поверхность соприкосновения. Гигроскопичность различных почв по Митчерлиху (в процентах):

Песчаная почва	0,5— 1,0
Супесь	1,0— 1,5
Легкий суглинок	1,5— 2,0
Средний „	2,0— 6,0
Тяжелый „	6,0—10,0
Глина	свыше 10

В торфяных почвах гигроскопичность может достигать 100% и выше.

При изучении торфяного грунта как гидрологического объекта, влияющего на режим стока вод с определенного бассейна, существенным является деление содержащейся в торфяном болоте воды на три категории.

1. Вода, содержащаяся в торфе сверх полной его влагоемкости, которая может, следовательно, под действием силы тяжести и разности давлений внутри торфа и атмосферы стекать в отводящие каналы (вода совершенно свободная и часть гравитативной).

2. Вода, которая удерживается от стока силою влагоемкости и может расходоваться лишь на испарение (часть гравитативной и капиллярная) через растительность или непосредственно с поверхности почвы.

3. Вода, которая настолько связана с сухим веществом торфа, что является изъятой из кругооборота влаги.

Итак, основную грань деления воды в торфе является верхняя грань полной влагоемкости торфа; все, что превышает полную влагоемкость, может быть сравни-

тельно легко отведено из болота по каналам и естественным руслам; все, что ниже грани полной влагоемкости, отводится с очень большим трудом и может частично расходоваться лишь на испарение. Поэтому свойство всякого грунта, в частности торфа—влагоемкость—должна быть рассмотрена специально.

Влагоемкость торфа

Влагоемкость торфа зависит от: 1) ботанического состава торфообразователей; 2) степени разложения торфа; 3) зольности торфа; 4) плотности торфа.

Перечисленные четыре фактора влияют каждый в отдельности, но вместе с тем последние два, зольность и плотность торфа, сами значительно зависят от ботанического состава и степени разложения; но все же они могут иметь и самостоятельное значение, как то будет показано ниже.

Значение ботанического состава. Лабораторные исследования Цайлера и Вильке по поглощению воды чистыми скоплениями отдельных видов растений дали следующие цифры. Сто частей воздушно-сухой массы растений поглощали частей воды:¹

Sphagnum acutifolium	2010
Sphagnum cuspidatum	1677
Hypnum stramineum	1751
Hypnum scorpioides	371
Осоки	300
Тростники	235

Значительный цифровой материал по этому вопросу собран проф. В. Н. Сукачевым в его книге „Болота, их образование, развитие и свойства“.

Таблица 4

Наименование	Влагоемкость %	Содержание влаги %	Зольность от сухого вещества %
Сфагновое болото	935	90,3	3,71
Переходное сфагновое осоковое болото	707	87,6	6,88
Суглинок	52	34,2	95

Понятно, что поглотительные свойства отдельных видов растений имеют тенденцию к выравниванию по мере разложения этих растений и перехода их в торфяную массу, но все же различие сохраняется и в стадиях сильного разложения торфа, что иллюстрируется очень большим числом исследований влагоемкости торфов различного происхождения; все исследования обнаруживают, что влагоемкость сфагнового, гипнового, осокового, тростникового торфа падает в той же последовательности ряда.

На Новгородской болотной станции получены величины влагоемкости торфов различного происхождения, которые приведены в табл. 4.

Таблица 5

Глубина взятия образца см	Содержание воды после насыщения %	Зольность %
110	73,8	1,08
120	83,7	1,06
130	87,2	0,82
140	88,2	0,90
150	87,8	0,88

¹ Из книги В. С. Доктуровского. Торфяное болото. 1932.

По исследованиям Инсторфа¹ торф в разрабатываемых карьерах (осушенного болота) содержит воды: на верховом болоте—88%, на низинном болоте—84%.

Старые сфагновые торфа Шуваловского торфяника, лежавшие ниже пограничного горизонта, поглощали воды значительно меньше (см. табл. 5 на стр. 12)).

Лежавшие в самом низу слои гипнового и тростникового торфа показали следующую влагоемкость (табл. 6).

Таблица 6

Род торфа	Глубина взятия образца см	Содержание воды после насыщения %	Зольность %
Чистый гипновый	160	91,0	0,66
Тростниковый	170	71,2	2,02
Осоково-гипновый	180	88,3	1,05

Значение степени разложения. С увеличением разложения торфа уменьшается его пористость, уменьшается объем пустот и этим уменьшается объем удерживаемой воды.

По исследованиям М. М. Юрьева, торф, взятый с разных глубин Лахтинского болота под Ленинградом и положенный в воду на неделю, содержал в себе после того следующие количества воды при полном насыщении:

С глубины	% воды
0—25 см	94,2
25—50 „	90,3
50—100 „	87,9

Торф сфагновый, тип болота Sphagnetum - папо - pinosum (мелкая сосна на болоте); зольность 1,82%. Табличка ясно показывает, что нижние более разложившиеся слои торфа обладают меньшей влагоемкостью.

Тем же автором произведено было насыщение водою образцов верхнего слоя молодого сфагнового торфа с Шуваловского болота под Ленинградом; после насыщения содержание влаги в образцах оказалось следующим (табл. 7).

Здесь с совершенной правильностью получилось, что по мере углубления влагоемкость сфагнового торфа уменьшалась, причем влияла на это не только степень разложения, но и уплотнение торфа.

Из германских примеров следует привести результат исследований Бременской болотной опытной станции торфа провинции Острогольц, подтверждающий положение, что чем более разложился торф, тем менее его поглотительная способность (см. табл. 8 на стр. 14).

Таблица 7

Глубина взятия образца см	Содержание воды после насыщения %	Истинный удельный вес
10	93,5	0,64
20	89,4	0,76
30	89,2	0,60
40	86,4	0,64
50	84,4	0,82
60	80,6	0,83
70	78,3	0,88
80	77,5	0,93
90	77,6	0,96
Торф пограничного горизонта	58,0	1,64

¹ Горячкин. Эксплоатация торфяных залежей на топливо. 1934.

Значение зольности торфа. Зольность торфяного болота имеет тройное происхождение. Во-первых, зола входит в состав тела всякого растения и этим самым зола входит в состав торфа как продукта консервации растения; во-вторых, зола поступает на болото при осадении из воды приносимых во время паводков взмученных частиц ила; в-третьих, зола оседает на поверхность болота в составе пыли,

Таблица 8

С какой глубины взят торф см	Описание торфа	100 частей воздушно-сухой массы поглощали воды
0,27	Верхний слой мохового торфа, хорошо разложившегося	890
27— 43	Моховой торф, менее разложившийся, с примесью пушицы	1 390
43— 61	Моховой торф, более чистый	1 560
61— 76	Моховой торф с примесью верескового торфа, хорошо разложившегося	820
76— 91	Смешанный торф: моховой, вересковый и остатки пушицы	720
91—104	Очень хорошо разложившийся торф, вересковый с примесью остатков мха и пушицы	570
104—117	То же	590
117—131	Вересковый торф, почти аморфный, с остатками почти неразложившихся стеблей травы	510
131—151	То же	400
151—157	То же	400

приносимой ветром. Основным фактором является здесь затопление болота пришедшей водой, так как от количества и состава взмученных частиц зависит оседание их на поверхность болота и ими обуславливается характер растительности.

Зольность растений торфообразователей весьма различна. Цейлер¹ дает следующие проценты зольности сухого вещества растений торфообразователей:

Тростник	4,2	Сфагнум (<i>Sphagnum cuspidatum</i>)	2,47
Камыш	14,41	Шейхерия	4,05
Хвощ	15,23	Пушица	1,94
Гипнум	6,16	Голубика	1,21
Кукушкин лен	8,78	Подбел	2,91
Сфагнум (<i>Sphagnum acutifolium</i>)	2,42	Багульник	2,16

Для сравнения укажем, что средняя зольность сухого вещества древесины сосны, березы, ольхи—40%.

Зольность других видов сфагнумов по Малютину (в процентах):²

<i>Sphagnum parvifolium</i>	2,40
" <i>fuscum</i>	2,37
" <i>medium</i>	2,70

Зольность торфяной залежи сфагнового болота в стадии выпуклой формы имеет наименьшую величину на некотором расстоянии от поверхности болота; например анализы Горещкого болота в БССР показали зольность (табл. 9):

¹ Из книги Докторовского. Торфяные болота. 1932.

² Из сборника "Труды Научно-исследовательского торфяного института". Вып. 14, 1934

Вероятное объяснение того, что зольность верхних слоев сфагнового торфа оказывается большей, чем зольность нижележащих слоев торфа, заключается в том, что нарастающий мох берет пищу из нижележащего слоя и этим перемещает минеральную часть торфяника кверху.

Аналогичные результаты определения зольности по слоям опубликованы в ряде изданий.

Каким же образом зольность влияет на влагоемкость торфа? Многочисленные исследования совершенно ясно указывают, что чем больше зольность торфа, тем меньше его влагоемкость.

На Рудня-Радовельской болотной станции¹ в б. Волинской губ. в результате 400 анализов получено следующее сопоставление зольности и влажности торфа (табл. 10).

Если обратить внимание на зольность образцов торфа с Шуваловского болота, приведенную при рассмотрении влагоемкости на стр. 13, то там также совершенно ясно выявляется правило: чем больше зольность торфа, тем меньше влагоемкость его, причем относится это не только к ряду однородных по торфообразователям образцов, но и к торфам различного происхождения: сфагновым, гипновым, тростниковым.

Значение плотности торфа. Плотность торфа уменьшает влагоемкость, но сама плотность является в залежи обычно функцией от степени разложения торфа, и потому влияния плотности отдельно от степени разложения торфа не исследовались, между тем во многих случаях она имеет и самостоятельное значение. Например, степень разложения торфа может оказываться на разных глубинах одинаковой, а плотность различной. Обработка торфяника под сельскохозяйственные культуры вызывает вследствие давления машин и людей уплотнение торфяника при той же степени разложения его. Таким образом, значение плотности могло бы рассматриваться независимо от степени разложения, но фактического материала для этого не имеется.

Фактическая влажность торфа

Приведенный выше материал указывает, что полная влагоемкость верхового сфагнового торфа доходит до 94%, низинного торфа—до 90%. Какова же их фактическая влажность в залежи? Оказывается, что фактическая влажность образцов торфа, извлеченных из залежи, обычно равна полной влагоемкости торфа. Если же извлекать образец торфа вместе с имеющейся свободной водой в залежи, то содержание воды в образце часто окажется выше полной влагоемкости торфа.

¹ Итоги работ Рудня-Радовельской опытной болотной станции за 1923—1926 г. Гидротехническая часть отчета. Составлена Келлем.

Таблица 9

Расстояние проб от поверхности см	Среднее содержание сухого вещества в 1 дм ³ залежи г	Средняя зольность сухого вещества %	Число проб
0— 20	47,6	4,22	8
21— 36	48,7	4,16	7
37— 50	52,5	2,79	7
51— 66	54,6	2,78	6
67— 85	76,6	1,90	4
86—122	86,1	2,33	6

Таблица 10

Зольность торфа %	Удельный вес	Содержание воды %
5	0,75	93,0
8	0,90	90,8
15	1,12	88,6
19	1,21	87,6
23	1,28	86,9
28	1,35	85,0

Здесь предварительно укажем на наличие в торфяной залежи так называемого уровня грунтовой воды — того уровня, на котором останавливается вода в узкой скважине, высверленной в торфяной залежи. В скважину стекает свободная вода торфа, и уровень в ней принято считать соответствующим уровню свободной воды в самом торфе. Этот уровень подвержен в течение года колебаниям в зависимости от выпадения атмосферных осадков, испарения и стока.

Те слои торфа, которые находятся ниже уровня грунтовой воды, увлажнены до полной своей влагоемкости плюс еще свободная вода. Слои торфа, находящиеся выше уровня грунтовой воды, увлажнены до полной своей влагоемкости минус потери на испарение, которые увеличиваются с приближением к поверхности.

Определений фактической влажности торфа в залежи произведено очень много, и имеются опубликованные цифровые материалы как послойных, так и суммарных влажностей залежей.

В статье „Торфяник как растущее тело“ В. Кудряшев¹ дает следующую естественную влажность торфа среднюю в залежи (табл. 11).

Таблица 11

Название болота	Тип болота	Естественная влажность %	Зольность %	Сухого вещества в 1 м ³ г	Примечание
Оршинский мох, Калининского района	Верховое	92,9	3,38	74	Слабо осушенное
Моховое 2-е, Клинского района	„	91,3	3,76	68	„
Васильевский мох, Калининского района	„	92,6	2,78	63	„
Молоховое, б. Киржачского уезда	Переходное	88,2	6,45	118	„
Кривец, б. Киржачского уезда	„	89,1	7,07	125	„
Б. Писцовское, Ивановской области	Низинное	87,1	11,06	121	Неосушенное

Табл. 11, а также и другие данные, указывают на два обстоятельства:

- 1) естественная влажность торфа в залежи по величине не отличается от полной влагоемкости торфа;
- 2) естественная влажность торфа находится в обратной зависимости от зольности торфа.

Послойное содержание влаги как типовое для верхового и низинного болот приводится проф. В. Г. Горячкиным в следующих величинах² в связи с зольностью, разложением и ботаническим составом (табл. 12).

В табл. 12 следует обратить внимание на то, что в слое торфа, лежащем на уровне грунтовой воды, где влияет испарение и где пополнение влаги происходит капиллярным поднятием ее, содержание влаги в торфе меньше, чем в слоях, находящихся ниже горизонта грунтовой воды, но разница эта все же невелика. Влажность сфагнового торфа по слоям в 0,5 м оказалась вообще невелика, максимум 91,2%, а как норма около 88% даже в слоях ниже горизонта грунтовой воды. Больши

¹ Вестник торфяного дела, № 1, 1929.

² Эксплуатация торфяных залежей на топливо. 1934.

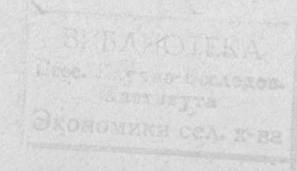
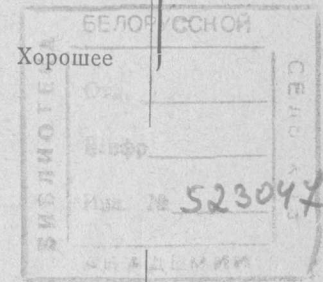
Таблица 12

Верховое болото

Глубина взятия пробы м	Влажность %	Зольность %	Вид торфа	Разложение	Уровень грунтовой воды м
0	18/VIII—78,3 2/X—82,6	7,04	Сфагновый с примесью пушицы и кукушкина льна	Слабое	} 0,48—0,61
0,5	85,2 85,6	4,26	Пушице-сфагновый	Менее среднего	
1,0	90,1 87,2	3,62	„	„	
1,5	88,5 88,6	3,49	„	Среднее	
2,0	90,2 89,5	3,16	„	„	
2,5	91,2 90,1	2,52	„	Менее среднего	
3,0	90,2 88,7	2,47	Сфагново-пушицевый	Среднее	
3,5	87,1	8,16	Осоков. с песком и древесиной	Хорошее	

Низинное болото

0	73,7	5,57	Пушице-сфагновый с сосной и кукушкиным льном	Среднее	} 0,5—0,55
0,5	82,2	7,87	Осоковый со сфагнумом и пушицей	„	
1,0	83,1	6,75	Осоковый со сфагнумом и трифолью	Более среднего	
1,5	86,4	5,52	Осоковый с гипнумом	Среднее	
2,0	89,0	4,91	Гипново-осоковый	„	
2,5	89,5	5,55	Осоковый с трифолью	„	
3,0	89,2	5,18	Осоковый с гипнумом	„	
3,5	85,6	28,18	Осоковый с трифолью	Хорошее	
4,0	70,6	70,46	Песок с осокой и трифолью	„	



величины влажности показывают определения ее в верхних горизонтах на Галицком и на Оршинском мхах.¹

Оршинский мох, 25/VIII 1932 г.

Глубина см	Степень разложения	Влажность %
0—7	2	89
7—11	8	89
11—12	27	93
18—38	40	88
38—50	10	93

В приведенной табличке приведено детальное послойное расчленение верхнего горизонта залежи, иллюстрирующее наличие в залежи разнородных по степени разложения и по влажности тонких прослоек; например, показана прослойка

Таблица 13

Наименование болот	Округ	Влажность сырца в % на глубине					
		0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	Средняя
Кардашинское	Херсонский	88,0	84,	91,4	90,0	—	88,4
Перевод	Прилукский	89,8	87,2	84,4	83,0	—	86,1
М. Низгурецкое	Бердичевский	80,0	85,4	—	90,0	—	85,2
Войтовецкое	Бердичевский	86,4	81,2	83,8	—	—	83,8
Ком. Чайка	Б. Церкви	—	82,6	—	84,6	87,0	84,7

на глубине 11—12 см толщиной между прослойками с влажностью влажность в отдельных прослойках

Таблица 14

Глубина взятая проб м	Фировское болото %	Корчажное болото %
0	90,9	93,6
2	91,0	93,6
3	91,1	91,8
4	90,9	90,6
5	—	85,7
Среднее	90,9	91,1

всего в 1 см с влажностью 93%, находящаяся до 95% при наличии здесь же прослоек влажностью в 88%. Этими цифрами автор статьи Н. М. Беликова иллюстрирует микроструктуру по степени разложения верхних горизонтов сфагновой залежи, обусловленную деятельностью микроорганизмов.

Влажность украинских приречных низинных разрабатываемых болот по данным лаборатории торфяной части Наркомзема УССР приведена в табл. 13.²

Из табл. 13 видно, что максимальная влажность украинских низинных болот равна 91%, в среднем же для неосушенных болот Украины влажность колеблется от 85 до 90% при зольности ниже 30%; от 80 до 85% при зольности свыше 30%.

Определение содержания влаги в торфе в зимнее время дает то же содержание влаги, что и летние определения. Влажность торфа Фировско-Корчажного сфагнового болота близ станции Фирово, линии Бологое—Полоцк, в феврале 1933 г. приведена в табл. 14.

¹ Приведены в Трудах Научно-исследовательского Торфяного ин-та, вып. 14, 1934.

² С. В. Курдюмов. Водный режим приречных болот и разработка их на топливо. Торфяное дело, № 5, 1927.

Очень большое содержание влаги оказывается и в германских болотах. Так, Брик¹ приводит содержание воды в слабо осушенных частях „Мертвого болота“ (Totes Moor) при Нейштадте (табл. 15).

Таблица 15

Глубина слоя м	Род торфа	Влажность %	Зольность %
0—3,35	Молодой сфагновый . . .	94,8	3,03
3,35—4,80	Старый сфагновый	91,5	2,97
4,80—6,85	Древесный	87,8	3,05

Проф. Шрейбер² указывает содержание воды в болоте Себастианберг в молодом сфагновом торфе до 95%, в старом до 90%, а на осушенных местах соответственно 92 и 86%.

В обобщении на основе приведенных и других материалов можно указать следующие величины влажности торфа из залежи в насыщенном водою состоянии:

сфагнового 92—94%
травяного 89—91%

Действие осушения на влажность торфа

Попавшая в торф вода удерживается им силою влагоемкости и капиллярности чрезвычайно цепко. Очень показательными в этом отношении являются производившиеся с 1930 г. на болоте Галицкий мох Торфяной опытной станции, единственные в этом роде, систематические наблюдения над „природными монолитами“.

Среди сфагнового торфяного массива были прорыты в перекрестных направлениях глубокие каналы таким образом, что между каналами остались площадки залежи поперечного сечения от 1 × 1 м до 39 × 53 м. Этим созданы были условия наибольшего стока и наибольшего испарения из торфа, оставшегося на месте и не потерявшего потому связи с материком.

Согласно отчету, составленному сотрудниками Торфяной опытной станции Савенко и Басукинским, обстановка и результаты опыта таковы:

Глубина залежи 2,85—3,15 м

Состав торфа (в процентах)

Sphagnum medium 40
Sphagnum parvifolium 20
Пушица 21
Кора и древесина коры 10
Степень разложения торфа 40

Глубина основных каналов, прорытых в 1928 г.—1,5 м; дополнительные каналы были прорыты в 1930 г.

Достигнутая к августу 1932 г., т. е. через 2 года и 2 месяца после прорытия каналов, степень осушения монолитов выражается следующим процентом влажности их:

¹ Brick. Das Tote Moor am Steinhuder Meer 1914.

² Schreiber. Moorkunde nach den gegenwärtigen Stande des Wissens auf Grund 30-jähriger Erfahrung. 1927.

Площадь поперечного сечения монолита м	Средняя влажность монолита %
1 × 1	75, а верхнего слоя в 1 м—72
1 × 2	
22 × 39	89
24 × 38,5	
33,5 × 39	88,5—89
53,5 × 39	

Если отбросить из обобщения природные монолиты 1 × 1 и 1 × 2 м, которые в производстве никогда не осуществляются и в которых главную роль играет испарение, а не сток, то оказывается, что интенсивнейшая осушка канавами глубиной 1,5 м, образующими между собою площадки 22 × 39 м, не может опустить содержание воды в сфагново-пушицевом торфе ниже 89%.

Количество выпадавших атмосферных осадков и испарения за период опыта:

Дата	Осадки мм	Испарение по Вильду мм
VII—XII 1930 г.	428,7	251
1931 г.	447	506,6
1932 г.	591,1	584,1
I—VII 1933 г.	317,6	342,6
	1784,7	1685,2

Здесь же одновременно были заложены и длинные полосы различной ширины между канавами глубиной 1,5 м. В августе 1933 г. средняя влажность этих полос была:

Ширина м	Влажность %
1	77—82
2	80,5—86
4	87—87,5
8	87,6
16—22	88,2
33	89,6
39	90,0

Нет иного такого грунта, который в столбах поперечного сечения 1 × 1 м или в полосах шириной 1 м содержал бы в себе 80% воды. Отсюда ясно, что, несмотря на всю важность осушения торфяной залежи как меры подготовки к выработке торфа, все же основная сушка торфа до 25% содержания влаги при нынешней технике торфодобывания должна осуществляться действием солнца и ветра на выработанные из залежи торфяные кирпичи.

Приведенные выше величины минимальной влажности относятся к сфагновому торфу разложения в 40%. Несомненно, однако, что достигаемая осушением минимальная влажность торфа зависит, как и влагоемкость торфа, от рода торфа, от степени его разложения, от зольности и плотности.

Влияние этих факторов прослежено было С. А. Сидякиным.¹

¹ Торфяное дело № 2, 1934.

На основании определения влажности залежей, разрабатываемых машинно-формовочным способом на ряде торфоразработок, имеющих давнее осушение, С. А. Сидякин вывел нижеследующую таблицу минимальной влажности торфяной залежи, достигаемой при осушении (табл. 16).

При достигаемой помощью осушения минимальной влажности сфагнового торфа в 87—89% влажность травяного торфа составляет 85—87%. На ряду с этим при наибольшем насыщении сфагнового торфа до 92—94% травяной торф насыщается водою до 89—91%.

На основании приведенных предельных величин содержания воды в торфе можно решить гидрологический вопрос: сколько воды должен поглотить 1 м³ торфяной залежи влажности 88%, чтобы влажность его достигла 93%?

Первоначально на 120 кг сухого вещества приходилось 880 кг воды. После насыщения на 70 кг сухого вещества будет приходиться 930 кг воды, а на 120 кг сухого вещества будет приходиться воды:

$$\frac{930}{70} \times 120 = 1594 \text{ кг.}$$

До насыщения приходилось 880 кг. Следовательно, добавочно каждый кубический метр залежи должен поглотить воды:

$$1594 - 880 = 714 \text{ кг,}$$

т. е. очень большое количество воды, равное высоте столба 0,714 м при основании в 1 м², что больше, чем годовая высота осадков.

В торфяной промышленности определение количества воды, которое необходимо прибавить к 1 м³ торфяной залежи, чтобы увеличить содержание воды с W_1 до W процентов, производится по выведенной из сущности явления формуле

$$V = \frac{100 - W_1}{100 - W} - 1.$$

Подстановка принятых нами к решению данных сразу дает:

$$V = \frac{100 - 88}{100 - 93} - 1 = 0,714 \text{ т} = 714 \text{ кг.}$$

Таким образом мы пришли к парадоксальному заключению: чтобы увеличить содержание влаги в торфяной залежи с 88 до 93% при мощности залежи в 1 м необходимо почти полугодовое количество атмосферных осадков. Если принять во внимание неизбежное испарение, точно не учитываемое, но примерно равное 75% выпадающих осадков, то оказывается, что насыщение торфяной залежи мощностью в 1 м с 88 до 93% влаги требует 7 лет, а при мощности в 3 м—21 года! При этом произойдет значительное разбухание торфяной залежи.

Наоборот, чтобы снизить содержание влаги в торфяной залежи с 93 до 88%, потребуется отнять из каждого 1 м³ залежи очень большой объем воды, определяемый следующими вычислениями.

Таблица 16

Степень разложения торфа	Наименьшая влажность, достигаемая осушением, в %	
	верхового болота	низинного болота
0	90	85,5
10	89,7	88,1
20	89,3	87,7
30	88,9	87,3
40	88,4	86,7
50	87,9	85,9
60	87,2	84,8
70	86,3	83,5
80	85,3	82,0
90	84,1	80,5

При 93% содержания воды в 1 м³ залежи находится: сухого вещества 70 кг, воды 930 кг. Чтобы процент сухого вещества сделался равным 12, нужно удовлетворить уравнение:

$$\frac{\text{Сухое вещество}}{\text{Сухое вещество} + \text{вода}} = 0,12.$$

Подставляем:

$$\frac{70}{70 + \text{вода}} = 0,12;$$
$$\text{Вода} = \frac{70 - 0,12 \times 70}{0,12} = 513 \text{ кг.}$$

Получаем, что на 70 кг сухого вещества должно приходиться 513 кг воды, а имелось 930 кг; следовательно, надо от 930 — 513 = 417 кг. Объем залежи при этом уменьшается.

Таким образом и здесь мы имеем большие цифры. Чтобы снизить в торфяной залежи мощностью в 1 м содержание влаги с 93 до 88%, надо отвести с каждого квадратного метра залежи 417 кг воды; это значит, что с 1 га залежи мощностью в 3 м. надо отвести:

$$\frac{417 \times 10\,000 \times 3}{1000} = 12\,510 \text{ м}^3 \text{ воды,}$$

что соответствует непрерывному в течение всего года стоку:

$$\frac{12\,510\,000}{86\,400 \times 365} = 0,40 \text{ л/сек. с 1 га.}$$

Если принять во внимание, что средний годовой сток речных бассейнов Московской области равен 0,05—0,07 л/сек. с 1 га (модуль стока), то становится ясным, насколько велик запас воды в торфянике ко времени летнего маловодья рек.

Однако не следует упускать из вида, что понижение содержания воды в торфянике с 93 до 88% и затем насыщение этого торфяника снова до 93% воды за время весеннего снеготаяния являются операциями практически невозможными.

Гидрологическое значение торфяных болот в значительной мере зависит от испарения воды с их поверхности. Испарение из грунта (через поверхность его и через растительный покров) следует различать фактическое—в естественных условиях влажности грунта, температуры, действия ветра и пр. и возможное—при насыщении грунта водой. Первое из них поддается прямому определению с большим трудом и может быть установлено с приближением к истине в лизиметрах учетом влажности грунта, поступления и просачивания воды. Косвенно фактическое испарение с болота может быть определено учетом выпадающих атмосферных осадков, притока воды со стороны и точным учетом стока. Возможное же испарение легко определяется помощью испарителя системы Рыкачева и более усовершенствованных, в которых количество испаряющейся из грунта воды непрерывно пополняется (лизиметры).

Испарение с поверхности болот, равно как и гидрологическая роль болот в целом, являются до настоящего времени в количественном отношении еще недостаточно разрешенными проблемами. С одной стороны, имеются основания предполагать значительные величины испарения с болот и приходиться поэтому к заключению, что болота уменьшают летнее питание рек, но, с другой стороны, имеются и серьезные признаки того, что болота испаряют со своей поверхности влаги меньше, чем другие виды земель.

За значительные испарения говорят четыре обстоятельства:

1) обилие воды в торфяном болоте, именно до 94% в верховом и до 91% в низинном типе, а, как известно, чем более насыщена почва водою, тем больше испарение с нее;

2) значительная капиллярность торфа, дающая возможность пополнения высыхающего верхнего горизонта водою из нижних горизонтов, с глубины до 6 м (отдельное указание);

3) влажность воздуха над торфяным болотом, говорящая за то, что происходит постоянное пополнение влаги воздуха испарением с болота;

4) черный цвет торфа низинных болот, имеющий следствием большее поглощение солнечных лучей и нагревание, что, конечно, увеличивает испарение со свободной поверхности торфа.

Специфичность растительности сфагновых болот

За незначительность испарения с верховых болот говорит одно, но весьма существенное и почти решающее обстоятельство, именно ксерофитный характер растительности, выражающийся в наличии у растений сфагновых болот признаков, свойственных условиям недостатка влаги в почве.

По исследованию И. А. Титова в 1913 г. в Раменской лесной даче, б. Московской губернии, сосны на болоте имеют рост побегов всего лишь в течение одного месяца, после чего жизнедеятельность затухает, как у сосен, растущих на самом сухом песке. Сравнительные величины главных побегов у 12—16-летних сосенок

Местообитание сосен	Число сосен	Время измерения побегов								
		14/IV	23/V	3/VI	14/VI	23/VI	3/VII	14/VII	23/VII	2/VIII
На песчаном сухом валу вдоль канала	4	10,5	16,6	21,0	22,4	22,8	41,2	41,9	43,8	
На песчаной почве II—III бонитета	5	7,4	14,5	24,5	35,1	39,7	41,2	41,9	43,8	
На осушенном 18 лет назад торфянике; покров— <i>Polytrichosum</i> и <i>Dicranum</i>	5	4,7	8,7	15,9	27,3	31,0	33,3	34,0	34,4	34,7
На сфагновом мокром болоте; клюква, подбел, багульник; годичное нарастание мха, определенное по роснянке, 3 см	5	1,4	2,4	3,9	7,0	7,2	7,3			

в 1913 г. указаны в табл. 17. Материал, приведенный в этой таблице, указывает на два обстоятельства, отмечаемые И. А. Титовым:

1) местообитание с действительным недостатком воды на песчаном валу вдоль канавы дает такой же, характерный годичный период роста сосны, как и местообитание с избыточной влажностью на сфагновом болоте;

2) условия роста сосны на осушенном болоте настолько же благоприятны, как и условия на почвах хорошего бонитета данного района.

Не только сосна, но и вся полукустарничковая растительность верхового болота имеет ясно выраженный ксерофитный характер, что отмечается ботаниками¹ и болотоведами и выражается наличием приспособлений для уменьшения испарения через листву. Густой покров из волосков на нижней поверхности листа имеют багульник и ивы; щитовидные волоски имеет подбел; восковой налет на обеих поверхностях листа у голубики и на одной нижней поверхности у подбела, клюквы, осоки (*Carex palustris*); кожистость листьев и стеблей—у подбела, клюквы, морошки, багульника; безлистые стебли—у хвоща, пушицы и некоторых осок.

Таким образом весь растительный покров верхового болота, за исключением пока самого сфагнума, испаряет воду в минимальном количестве, имея для этого те же защитные средства, что и растения засушливых мест.

Причина того, что на болоте многие растения живут, потребляя возможно меньшее количество воды, кроется в нескольких обстоятельствах:

1) вода, насыщающая торфяник, есть коллоидальный раствор органических веществ, из которого растение может черпать воду лишь с трудом;

2) низкая температура воды на горизонте корневой системы заставляет растения потреблять воду в минимуме;

3) содержание в воде угольной и перегнойных кислот делает эту воду ядовитой для растения.

Испарение из сосудов

Вследствие указанных противоположных по влиянию на величину испарения свойств торфяного болота вопрос не может быть

¹ Е. Варминг. Ойкологическая география растений. 1901.

решен логическими умозаключениями, а необходим фактический материал наблюдений.

В обстоятельном многотомном руководстве по почвоведению, изданном в 1930 г. на немецком языке,¹ приведено очень много материала наблюдений над испарением с различного рода почв,² но большая часть этих наблюдений не может иметь никакого значения для разрешения вопроса об испарении с поверхности болота, поля, дуга и леса. Опыты испарения производились преимущественно в трубах и при этом над „порошками“ вместо почв в естественном их строении. Например, Haberlandt помещал почвы в стеклянные цилиндры диаметром 3,5 см и подавал определенные количества влаги в почвы помощью трубки через дно цилиндров. Количество испарившейся воды определялось через каждые 4 часа и после того каждый раз производилось пополнение. Почвами служили:

глина крупнопесчаная (Grobsandige Lehm) с влагоемкостью . . . 35,0%/о
болотная земля (Moorboden), с влагоемкостью 112,89%/о
песок (Sand) с влагоемкостью 25,0%/о
свободная вода—для сравнения.

Наблюдения велись при разных насыщениях почвы, при разных дефицитах влажности воздуха в тени. Величина испарения в граммах с 1 дц² оказалась:³

Температура по сухому термометру, °C	10,4	12,57	17,05	18,4
„ „ смоченн. „ °C	9,26	10,47	14,45	15,1
Глина песчаная с 35% влаги	2,73	5,72	17,24	27,72
Песок с 25% влаги	2,78	5,70	15,09	24,48
Болотная земля с 113% влаги	2,55	4,86	16,36	21,46
Дистиллированная вода	2,13	4,38	11,71	21,69

Следовательно, с поверхности воды испарялось воды приблизительно столько же, сколько с порошка болотной земли. Глина же и песок, насыщенные водою, испарили воды больше, чем болотная земля при всех условиях.

Wollny испытывал кварцевый песок, каолин, торф и смеси их. Почвы-порошки помещались в сосуды 1000 см² поперечного сечения, 10 см высоты; насыщение производилось снизу капиллярным поднятием; все сосуды с 11 сентября по 17 октября 1883 г. оставались в одинаковых условиях испарения. В результате с 1000 см² поверхности испарялось за сутки:

	Испарение г	Соотношения
Кварцевый песок чистый	333	100
Кварцевый песок 2 части и каолин 1 часть	355	106
Кварцевый песок 1 части и каолин 2 части	387	116
Каолин чистый	417	125
Каолин 2 части и торф 1 часть	425	128
Каолин 1 часть и торф 2 части	425	128
Торф чистый	444	134
Торф 2 части и песок 1 часть	373	112
Торф 1 часть и песок 2 части	370	111

¹ Handbuch der Bodenlehre. Herausgegeben von Dr. Blanck. 1930.

² Wollny, Hann, Henselle, Masure, Haberlandt, Krüger и др.

³ Повидимому за 4 часа (в изложении не ясно).

Из этих опытов можно вывести два заключения:

1) почвы совершенно различных физических свойств в насыщенном состоянии испаряют почти одинаковое количество воды;

2) но все же наличие органического вещества (торфа) увеличивает испарение: торф-порошок испаряет больше, чем песок в насыщенном водою состоянии.

Испарение с монолитов

Следующим этапом является изучение испарения с почв не в порошкообразном состоянии, а с монолитов, вырезанных из болота и помещенных в сосуды, например в испаритель системы Рыкачева или в лизиметры.

Этим методом проведено много наблюдений, но в систему они не приведены и большая часть их даже не опубликована.

Helbig¹ указывает, что материалов по испарению живыми растениями, годных для сопоставления, очень мало. Им приводится следующая основная табличка сравнительных величин испарения:

с необработанной почвы	100%
с покрытой травяной растительностью	190,6%
с покрытой моховой растительностью	104,9%

Моховая растительность в данном случае состояла из *Dicranella heteromalla*, имеющей, по пояснению Helbig'a, значительно меньшую поверхность испарения по сравнению с травяной растительностью.

По данным Wollny, высота слоя воды, испарившейся в течение одного года (в среднем из трех лет), при количестве осадков в 586 мм, была:

с песка	189 мм
„ торфа	323 „
„ перегнойно-известкового песка	337 „
„ суглинка	390 „
„ травы на перегнойном песке	490 „

Приведенные две таблицы указывают, что поверхность, покрытая травяной растительностью, испаряет значительно больше, чем открытые грунты.

В 1926 г. Hartmann'ом были поставлены опыты над испарением.² Помощью цилиндрического бура в лесу вынуты были без нарушения структуры и растительности цилиндры песчаного грунта, высотой 40 см., диаметром 25 см и сразу установлены в сосуды соответствующих размеров. Дно сосудов имело отверстие, затянутое сеткой; сосуды были помещены в вегетационном домике; потери на испарение определялись взвешиванием; убыль воды пополнялась. Растительный покров, время и величина среднесуточного испарения (в мм) видны из табл. 18.

Оказалось, что поверхность, покрытая гипнумом, испаряет меньше, чем голый песок и свободная вода.

Больше всего испаряют сладкие злаки: полевица и ежа сборная. Голый песок, вода и гипнум далеко отстают по испарению от поверхности, покрытой злаками.

Существенно важным является пополнение испарения капиллярным поднятием воды из нижних слоев грунта; чем больше высота и скорость капиллярного поднятия, тем сильнее идет испарение с поверхности, покрытой и непокрытой растительностью. Нет смысла приводить опыты над капиллярным поднятием по почвам-порошкам, надлежаще же обставленных и описанных наблюдений над высотой и скоростью капиллярного поднятия воды в монолитах и в естественной залежи мы не имеем.

¹ Handbuch der Bodenlehre. Herausgegeben von Dr. Blanck. 1930.

² Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. Ang. 1928.

Таблица 18

Поверхности	Июль 2—17	Август 5—XI—1	Сентябрь 1—X—2	Октябрь 6—20	Ноябрь— Декабрь 1	Декабрь 1—7
Полевица (<i>Agrostis vulgaris</i>)	5,2	2,44	—	0,99	0,43	0,15
Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i>)	4,4	2,38	1,34	0,85	0,34	0,13
Луговик (<i>Aira flexuosa</i>) с при- месью гипнума	3,56	2,68	1,26	0,42	0,30	0,16
	3,35	2,14	—	—	0,42	0,17
Песок открытый	0,85	—	0,61	0,40	0,30	0,10
Гипнум (<i>Hypnum Schreberi</i>)	0,65	0,45	0,16	0,07	0,10	0,09
Поверхность воды	1,33	1,06	0,71	0,69	0,40	0,29

Perels¹ дает следующие цифры высоты подъема воды в почвах капиллярными силами:

Крупнопесчаная	0,25—0,30 м
Суглинистая	0,45—0,60 „
Глинистая	1,00—1,25 „
Торфянистая	6 „

Однако показанная высота капиллярного поднятия воды для торфа в 6 м подвергается болотоведами и торфоведом сомнению; может быть, вода в торфе и поднимается на такую высоту, но важно еще, какое время на это потребуется; при очень медленном капиллярном поднятии испарение с поверхности не будет возмещаться и потому может прекратиться. Schreiber² считает, что болотная поверхность при своем естественном строении испаряет воды меньше, чем глина, так как поднятие воды в торфе идет не так быстро. При полном насыщении почв разница в испарении воды в них сглаживается.

Значительность капиллярного поднятия воды в торфе ставится под сомнение и другими авторами. Puchner³ пишет: „Все это, вместе взятое, позволяет думать, что капиллярное поднятие воды для поверхности осушенных болотных почв имеет малое значение. Понижение уровня грунтовых вод ниже 70 см для полевых культур и 40—60 см для лугов уже рискованно, так как поднятие воды идет медленно“.

Из наблюдений над испарением с почв в СССР наибольшую продолжительность имели наблюдения по испарителям Рыкачева на Новгородской болотной опытной станции. За десять лет наблюдений получены следующие средние величины испарения в миллиметрах высоты (см. табл. 19).

Оказалось, что больше всех угодий испаряет искусственный луг, т. е. злаки кормовые. За ним следует болото переходное, т. е. угодье, также покрытое травяной растительностью. Значительно меньше испаряет моховое болото; наименьшее испарение наблюдалось с черного пара (обработанная, поддерживаемая в комковатом состоянии, не засеянная поверхность).

Но табл. 19 указывает нам еще на одно важное обстоятельство: атмосферных осадков выпадает за период июнь—сентябрь больше, чем может испариться воды с поверхности сфагнового болота; следовательно, с мохового болота за июнь—сентябрь, помимо снеговых вод, должен происходить сток дождевой воды.

¹ Handbuch des Landwirtschaftlichen Wasserbau.

² Schreiber. Moorkunde nach dem gegenwärtigen Stande des Wissens auf Grund 30-jähriger Erfahrung. 1927.

³ Пухнер. Торф. 1929. Перевод с немецк., 1920.

Таблица 19

Род поверхности	Месяцы					Испар. за VI—IX	Атмосфер- ные осадки за VI—IX
	V	VI	VII	VIII	IX		
Болото моховое	114,1	80,1	84,3	76,8	45,3	286	292
„ переходное	97,0	100,5	96,4	84,3	43,8	325	
Луг искусственный	118,7	124,2	116,2	58,6	42,0	341	
Рожь озимая	124,9	121,2	89,6	59,8	—	271	
Овес	83,7	111,4	104,2	83,0	—	299	
Черный пар	79,4	63,9	65,4	67,6	49,9	247	

На торфяной опытной станции в Редькине, Калининского района (болото Галицкий мох) осадки и испарение с 15 мая по 21 октября 1927 г. при наблюдениях с площади испарения в 500 см² помощью испарителя Рыкачева оказались (табл. 20):

Таблица 20

Осадки и испарение	Безлес- ный участок	Лесной участок
Выпало осадков, мм	470	392
Испарение с поверхности сфагнома разных видов в испарителе Рыкачева, мм	340	236
Испарение с водной поверхности в площадях 500 см ² , мм	292	202

Здесь мы имеем подтверждение того, что величина испарения с поверхности сфагнового болота значительно меньше, чем выпадение осадков; со сфагнового болота должен быть сток. Здесь же оказалось, что испарение с поверхности сфагнового покрова, насыщенного водою, на 19% больше, чем с поверхности воды.

Д. А. Герасимов¹ приводит данные Мальмстрема по болоту в северной Швеции о том, что

если испарение с поверхности воды принять за 100, то с поверхности сфагнома оно равно 121%.

Если учесть то обстоятельство, что в летнее время верхний слой мохового покрова и торфа в результате испарения содержит влагу в количестве, меньшем полной влагоемкости, становится суше, чем в испарителе Рыкачева, то можно сделать вывод, что с поверхности моховика за лето испаряется влаги равное количество или меньшее, чем с поверхности открытого водоема.

По наблюдениям в Сибири на опытной станции Вомнак, Североамурской области, за время с 27 июня по 11 августа 1909 г. оказалось то же соотношение между осадками и испарением в сторону значительного превышения осадков (табл. 21).

Приведенные материалы Новгородской, Редькинской и Амурской станций с ясностью показывают, что торфяная залежь насыщена водой не потому только, что к ней имеется приток поверхностных и грунтовых вод с минеральных возвышенностей, но и потому, что в зоне избыточного увлажнения выпадает осадков больше, чем испаряется; поэтому ограждение болота от притока пришедших вод не устранит необходимости проведения водоотводных канав с него.

Западная экспедиция по осушению болот еще в 1879 г. организовала наблюдения над испарением с песчаного и торфяного грунта из сосудов в Василевичах

¹ Торфяное дело, № 6, 1925.

Таблица 21

Тип болота	Выпало осадков мм	Испари-лось мм	Осталось в почве мм
Сфагновое	189	102	87
Болотистый участок с кукуш- киным льном и багульником.	190	103	81
Лес из лиственницы с багуль- ником	134	57	77

(бассейн р. Припяти). Наладились эти наблюдения с 1883 г. из сосудов, наполнен-ных песком без покрова, песком с травяным покровом и торфом с посевом овса.¹ Грунт помещался в цилиндрические сосуды площадью 1000 см², высотой 35 см; на дно сосудов клались камни, которые покрывались полотном; на полотно помещался грунт (повидимому, насыпался). На дне сосудов поддерживался слой воды в 1,5 см; учет испарения производился по количеству выпадавших атмосферных осадков и по подлитой в сосуды воде; край сосуда устанавливался на уровне поверхности земли.

Четырехлетние наблюдения дали следующие величины испарения (в миллиметрах), за периоды май—октябрь (табл. 22).

Таблица 22

Годы	Песок		Песок с травяным покровом		Торф с ежегодным посевом овса		Испарит. Вильда в будке
	1-й сосуд	2-й сосуд	1-й сосуд	2-й сосуд	1-й сосуд	2-й сосуд	
1883	547	—	1 605	1 376	1 079	1 107	504
1884	516	501	—	1 200	1 135	1 071	483
1885	584	549	1 816	—	1 922	1 881	572
1886	532	526	1 246	1 301	1 562	1 647	498

Согласно Е. В. Оппокову, приведенные цифры могут грешить в своих абсолютных величинах вследствие неудачной установки сосудов вровень с поверхностью земли, но взаимное соотношение величин признается им правильным. Выводы из таблицы очевидны.

Площадь песка, покрытая посевом трав, и торф, покрытый посевом овса, испаряют воды в два-три раза больше, чем открытая песчаная поверхность.

Из серии параллельных опытов экспедиций, проведенных с 1881 по 1886 г. в Пинске тем же методом, получено, что испарение с открытой торфяной поверхности в два раза меньше испарения с открытого песка.

Хорошие сравнительные величины по испарению с различных поверхностей приведены в записке инж. Бефани „Проектирование мелиоративных систем, регулирующих поверхностный сток“, имеющейся в Ленинградском Гидропроице. Суточное испарение на ст. Гош Дальневосточного края за время июнь—август 1930 г. оказалось следующим (условия опыта не указаны):

¹ Е. В. Оппоков. О наблюдениях над испарением воды из почвы. Геофизический сборник, т. IV, вып. 1. 1919.

Открытое озеро	3,8 мм	Моховое болото	2,6 мм
Затененная водная поверхность	1,5 "	Кустарниковая поверхность	2,3 "
Луг осоковый	2,7 "	Посев овса	5,3 "
Разнотравие осоковое	4,4 "	Будка Вильде	2,6 "

Приведенная табличка показывает, что на Дальнем Востоке моховое болото испаряет меньше, чем открытая поверхность воды, меньше чем посевы овса.

Наконец, имеются еще неопубликованные, но доложенные в Москве на совещании работников опытной мелиорации 27 января 1935 г. результаты опытов над испарением в лизиметрах, проведенные Минской болотной станцией в 1934 г. для выявления значения глубины залегания грунтовой воды при испарении. Результаты эти следующие:

Расстояние грунтовой воды от поверхности в лизиметре см	Испарение за май—сентябрь, мм		Выпало атмосферных осадков мм
	Торфяная почва без ра- стительности	Торфяная почва с клевером и тимофеевкой	
40	401	756,9	323
65	—	690,1	—
80	235,9	589,6	—

Этими опытами еще раз подтверждено, что закультивирование торфяной почвы кормовыми травами резко увеличивает испарение; из табл. 23 видно также, что испарение сильно снижается с увеличением расстояния грунтовой воды от поверхности земли.

Отметим еще, что различные сфагнумы обладают различной влагоемкостью; естественно ожидать поэтому, что и способность испарения различных видов мха неодинакова. По этому вопросу Д. А. Герасимов на первом Союзном гидрологическом съезде в 1924 г. сообщил следующие цифры, полученные из опытов с испарителем Рыкачева.

Если испарение с поверхности, покрытой *Sphagnum medium*, принять за 100, то с поверхности *Sphagnum parvifolium* испарилось 88; с поверхности *Sphagnum fuscum*—82; с поверхности *Polytrichum strictum*—73; дождя же выпало—109. Дождя выпало больше, чем могло испариться со сфагновой поверхности.

Заключение

Подводя итог результатам непосредственных наблюдений над испарением с различных поверхностей, в сопоставлении с характером болотной поверхности, приходим к следующим выводам:

1. Испарение воды со всех видов почв находится в большой зависимости от влажности почвы, и при насыщении почв до полной их влагоемкости разница в испарении непосредственно с почв становится незначительной.

2. Испарение с поверхностей, покрытых сфагнумом, травяной растительностью, а также зерновыми культурами, больше, чем с открытых почв; исключение составили песчаные поверхности, покрытые гипнумом, которые испаряли (в сосудах) меньше открытой песчаной почвы.

3. Испарение со сфагновых болот за период май—сентябрь меньше, чем выпадает за то же время атмосферных осадков, и потому за этот период неизбежен сток дождевой воды со сфагновых болот. Это обстоятельство весьма существенно для суждений о гидрологической роли болот.

4. Испарение с поверхности, покрытой растущим сфагнумом, меньше, чем с поверхности, покрытой естественной и культивируемой травяной растительностью, что очень существенно для суждения о гидрологических последствиях культуры болот.

5. Вся основная растительность сфагновых болот—багульник, подбел, вереск—обладают признаками, указывающими на ксерофитный характер этих растений, т. е. на малое потребление ими воды.

6. Испарение с болота за вегетационный период приблизительно равно испарению со свободной поверхности воды за то же время; испарение с культивируемых площадей больше, чем со свободной водной поверхности.

Приведенные положения, в последующем сочетании с другими свойствами болот и с материалами по стоку, дадут возможность притти к выводам о гидрологической роли девственных и культивируемых болот сообразно с имеющимися к данному времени материалами наблюдений. Здесь же пока мы можем уверенно констатировать важнейшее обстоятельство, что культивирование болот увеличивает испарение с них.

При дальнейших исследованиях следует иметь в виду, что величина испарения с поверхности земли зависит от многих метеорологических и почвенных факторов.

К метеорологическим факторам относятся: 1) температура воздуха; 2) влажность воздуха (дефицит насыщения); 3) движение воздуха (ветер); 4) давление атмосферное; 5) солнечное сияние.

К почвенным факторам относятся: 1) крупность частиц почвы (мелкозернистые почвы испаряют больше); 2) строение почвы—грунта (морфология); 3) химический состав почвы (почва после внесения удобрения испаряет меньше); 4) цвет почвы; 5) мертвый покров (уменьшает испарение); 6) живой растительный покров (увеличивает испарение); 7) температура почвы; 8) влажность почвы; 9) капиллярность; 10) положение уровня грунтовой воды; 11) сопротивление смачиванию; 12) направление склона поверхности (на юг, на север).

СЕЗОННЫЕ СТОЯНИЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Определение уровня грунтовой воды

Наиболее простое и ясное гидрологическое определение грунтовой воды сформулировал С. Н. Никитин:¹ „Грунтовой или подпочвенной водой мы называем воду первого от поверхности водоносного горизонта, расположенного в подпочве или в более глубоких коренных породах на первом от поверхности водонепроницаемом слое, остающуюся свободной за удовлетворением абсолютной или наименьшей влагоемкости водоносной породы“.

Почвоведы дают иногда формулировку грунтовой воды в таком виде: „Вода, заполняющая свободные от капиллярных сил почвенные промежутки и находящаяся под действием лишь гидростатического давления“.

В переводном издании 1932 г. книги Prinz'a² грунтовая вода определена еще иначе: „Пустоты, заключенные в зернистой массе водоносного пласта, называются порами, и образующаяся в такой пористой массе подземная вода называется грунтовой водой“.

Практически, в производственном понимании, грунтовая вода есть та вода, которая просачивается из грунта в высверленную в нем скважину или вырытую яму и заполняет ее до какого-то горизонта; поверхность скопившейся в такой скважине грунтовой воды, после принятия ею стационарного для данного момента положения, мы и называем уровнем грунтовой воды.

В высверленную скважину будет стекать из грунта та вода, которая находится в грунте сверх его влагоемкости, а уровень ее установится в скважине лишь тогда, когда он будет на горизонте стояния свободной воды в порах самого грунта. Если гравитативная вода насыщает грунт до самой его поверхности, то и в скважине вода установится вровень с поверхностью грунта; если гравитативной воды в грунте на глубине скважины нет, то и в скважине не должно скопиться воды. Это является элементарным представлением о грунтовой воде первого горизонта, которым пользуются корни растений, и определение его помощью смотровых скважин — пока единственный производственный способ определения уровня грунтовой воды в торфяной залежи и в минеральных грунтах. Но при пользовании этим способом необходимо иметь в виду три существенных соображения, или возражения, против него.

Первое соображение состоит в том, что скважина может пересечь в грунте крупную или малую водоносную жилу, и наполнение скважины произойдет водою этой жилы; грунт может быть сухим, ненасыщенным до капиллярного заполнения, а скважина будет показывать свободную грунтовую воду. Этот случай может быть проконтролирован устройством нескольких скважин; все они не могут оказаться на водной жиле, а если таких жил много и всякая скважина попадает на жилу, то и грунт в таком случае окажется насыщенным водою сверх полной влагоемкости, и показания скважины будут соответствовать горизонту насыщения грунта.

¹ С. Н. Никитин. Бассейн Днепра. Исследования Гидрогеологического отдела экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. 1896.

² Prinz. Hydrologie.

Второе соображение должно учитывать наличие в грунте водонапорных и водопоглощающих горизонтов; торф может подстилаться песком.

Смотровая скважина, дно которой находится в водонапорном горизонте, показывает не уровень грунтовой воды, а горизонт напора, т. е. является пьезометрической трубкой лаборатории или артезианским колодезем в производстве.

Наоборот, если песок, подстилающий торф, имеет уклон и отводит воду в реку, то скважина, доведенная до отводящего воду песка, будет показывать уровень воды ниже, чем другая скважина, дно которой не доведено до водоотводящего песка.

На одном и том же болоте, в разных частях его, может иметься и водоотводящий и водонапорный песчаный подстилающий горизонт.

Наконец, смотровая скважина может пересечь в самом торфе несколько горизонтов различного напора воды, и уровень воды в ней будет отражать в этом случае какое-то суммарное действие положительных и отрицательных напоров. Смотровая скважина есть поэтому несомненный пьезометр, показывающий уровень осредненного гидромеханического давления воды в пересеченных горизонтах грунта.

Это показание удовлетворяет исследователя в тех случаях, когда нужно знать суммарный водный режим торфяника по всей его толще, например, для выявления водных условий ручной выемки торфа, когда заполнение карьера водою при отсутствии стока зависит именно от осредненного гидромеханического давления воды во всех пересекаемых карьером горизонтах; то же самое — при суждении о глубине воды в ямах-копанях, устраиваемых для накопа воды для полива растений или в противопожарных целях, при отсутствии водоподводящих каналов.

Если же требуется выявление условий питания водою корневой системы растений, то в этом случае нужно знать грунтовую воду в зоне развития корней, и потому смотровая скважина должна быть просверлена не ниже этой зоны питания корней.

Изложенное приводит к заключению, что для всестороннего изучения внутреннего водного режима торфяной залежи следует установить „кусты“ смотровых скважин различной глубины. Если поблизости друг от друга устроить смотровые скважины глубиной в 20, 40, 60 см и т. д., с внедрением самой глубокой скважины в подстилающий песчаный или глинистый грунт, то горизонты в этих скважинах покажут весь характер распределения воды в грунте: если во всех скважинах куста горизонт воды одинаков, значит в грунте нет особых водонапорных и водопоглощающих прослоек; если горизонты воды в скважинах куста различны, значит стратиграфическое строение залежи сложно, имеются разнородные по физическому строению и водному питанию слои.

Наконец, третье соображение при устройстве смотровых колодезей заключается в том, что в труднопроницаемых грунтах, например в глине и плотных торфах, попавшая в скважину вода держится в ней, может быть, как в сосуде с глиняными стенками, вне связи с уровнем избыточной воды в самом грунте. В скважину может стечь поверхностная вода с болота и стоять здесь выше действительного уровня грунтовой воды; или испарение из торфяного и глинистого грунта может пойти так интенсивно, что снижение грунтовой воды опередит рассасывание воды из скважины. Мераю предупреждения этих обстоятельств является простая защита верха скважины от втекания поверхностной воды и устройство скважин возможно малого диаметра, чтобы имеющийся в них запас воды был возможно меньшим и потому быстрее рассасывался при понижении воды в грунте и, наоборот, быстрее восполнялся при поднятии воды в грунте.

Таким образом все три основных соображения, касающиеся наблюдения грунтовых вод помощью смотровых скважин, не умаляют значения этого метода наблюдения. Но есть еще суждение, которое ставит вопрос о том, есть ли вообще в торфяном и глинистом грунте действительное зеркало избыточной воды и не образуется ли такое зеркало лишь в скважине? Для проверки этого необходимо иметь прибор, который при погружении в грунт фиксировал бы достижение именно уровня воды, а не наличие лишь воды, державшейся в порах и капиллярах и выдавливаемой из них самим прибором. Некоторые соображения по этому поводу будут даны ниже.

Факторы, действующие на уровень грунтовой воды

Качество фактического материала и общий годовой ход изменений уровня воды. Уровень грунтовых вод на торфяниках систематически наблюдается у нас во многих пунктах; каждое опытное поле по культуре болот начинает работу с наблюдений уровня грунтовых вод помощью смотровых колодцев. Но почти все эти наблюдения приурочены к пространствам, прорезанным осушительными канавами, и имели задачей выявить действие канав на уровень воды и затем действие уровня воды на рост растений.

Такие наблюдения, ежедневно производимые на многих колодцах, начаты были в России в первые в 1909 г. в Раменской лесной даче, б. Дмитровского уезда Московской губернии, и в Оршинской лесной даче, ныне Калининского района, осушенных еще задолго до начала наблюдений. С 1914 г. начаты были массовые наблюдения грунтовых вод на болоте Минской опытной станции по культуре болот под г. Минском, с 1917 г.—на Новгородской опытной станции, с 1924 г.—на Рудня-Радовельской опытной станции б. Волынской губернии; за эти же годы наблюдения велись на многих опорных пунктах по культуре болот.

Прошло, таким образом, 26 лет со времени начала регулярных наблюдений над уровнем грунтовых вод на болотах, но соответствующего материала не получено. Записи наблюдений в настоящее время удается найти не полностью, случайно, но главное то, что в них трудно разобраться; имелись изменения в положении сваек у колодцев, которые не оговорены, наблюдения велись часто небрежно, так как обход смотровых скважин является физически трудным делом и слабо контролируемым. Но общий ход изменения уровня воды на болотах стал к настоящему времени все же проясняться как в своем нормальном сезонном ходе, так и в отступлениях под влиянием изменчивых элементов погоды.

Положение уровня грунтовой воды на болоте обуславливается тремя группами факторов.

К первой группе относятся факторы, действующие непрерывно и постоянно в одном направлении; сюда относятся: рельеф болот, растительность, канализация. Местам повышения рельефа соответствует большее расстояние грунтовой воды от поверхности, в пониженных местах — вода ближе к поверхности. (Значение растительности и канализации будет указано ниже.)

Но затем в каждой точке поверхности болота уровень грунтовой воды изо дня в день меняет свое положение под действием факторов климата и погоды. Климат района вызывает закономерный сезонный ход изменения уровня грунтовой воды в течение года. Весеннее снеготаяние закономерно вызывает весенний подъем уровня воды, летнее испарение вызывает снижение уровня, осеннее понижение температуры при наличии атмосферных осадков имеет следствием осенний подъем грунтовой воды и, наконец, медленный сток воды с болот в зимнее время, при отсутствии пополнения с поверхности, вызывает снижение грунтовой воды в течение зимы.

Наряду с этим годовым ходом уровень грунтовой воды претерпевает сильные эпизодические изменения под действием такого же проявления влияющих элементов погоды — главным образом от выпадения атмосферных осадков, затем от температуры воздуха и менее от силы ветра.

Положение уровня грунтовой воды в связи с рельефом местности. Несмотря на определение грунтовой воды как воды свободной в грунте, находящейся под действием лишь гидростатического давления или обычно просто под действием силы тяжести, оказывается, что действию силы тяжести значительно противостоит сопротивление торфяного грунта продвижению в нем воды. Если бы сила тяжести не встречала этого сопротивления, то уровень грунтовой воды образовал бы почти горизонтальную плоскость, имеющую некоторый уклон в сторону стока грунтовой воды. В действительности оказывается, что грунтовая вода близко следует изгибам поверхности земли: на выпуклом болоте образует выпуклую поверхность, на подъеме лонов от болота образует также подъем.

Частичное объяснение этого заключается в том, что доминирующее влияние на уровень грунтовой воды имеет испарение, так как высота его лишь немногим меньше высоты выпадающих атмосферных осадков. Испарение уменьшается по мере понижения грунтовой воды, а так как действие испарения почти одинаково на всей поверхности болота, то и снижающее действие его на уровень грунтовой воды одинаково; влияние стока с девственного болота, не прорезанного каналами, в летнее время совершенно мало. Действие испарения настолько сильно, что иногда грунтовая вода образует такие же местные впадины, как и поверхность земли.

Уровень грунтовой воды под влиянием отводящих каналов. Осушительные каналы оказывают существенное косвенное и прямое влияние на уровень грунтовой воды на болоте. Косвенное влияние выражается в том, что поверхностная вода, застаивавшаяся на поверхности низинного болота, быстро стекает в каналы, поверхность болота освобождается от воды и вместе с этим раньше начинается действие испарения на всей поверхности болота. Непосредственное же влияние канав и естественных русел выражается в том, что вследствие разности горизонтов воды в русле и в торфяной залежи из залежи идет движение грунтовой воды в русло; результатом этого является снижение грунтовой воды в залежи, увеличивающееся при приближении к канаве и затухающее на некотором расстоянии в зависимости от разности горизонтов воды, рода торфа, количества выпадающих осадков и пр. Формулы движения грунтовой воды и уравнения линии профиля грунтовых вод будут рассмотрены в главе VI, здесь же приведем лишь типовые профили грунтовой воды, уже давно наблюдаемые на моховом Оршинском болоте Калининского района (рис. 2) и на переходном Раменском болоте в Дмитровском районе (Московской обл.; рис. 3).

Профили показывают, что в сфагновом торфе отводная канава непосредственно снижает грунтовую воду лишь на расстоянии до 20—30 м от канавы, в торфе же травяно-сфагновом действие канавы распространяется на 203 м в сторону от правой канавы и на 245 м от левой канавы.

Наблюдения показывают, что в сухое летнее время действие испарения настолько сильно, что уровень грунтовой воды выравнивается на всей полосе между канавами, образуя плоскость параллельную поверхности болота. Но все же осушение и величина расстояния между канавами оказывают существенное влияние на уровень грунтовой воды и в летнее время. Чрезвычайно интересным в разрешении вопроса о том, как влияют осушительные каналы на уровень грунтовых вод в сфагновом торфе, является опыт Торфяной опытной станции, проделанный на болоте Галицкий мох.¹ Здесь на специально выделенном для этой цели участке прорыты были глубокие

¹ Близ ст. Редькино между Москвой и Калининским.

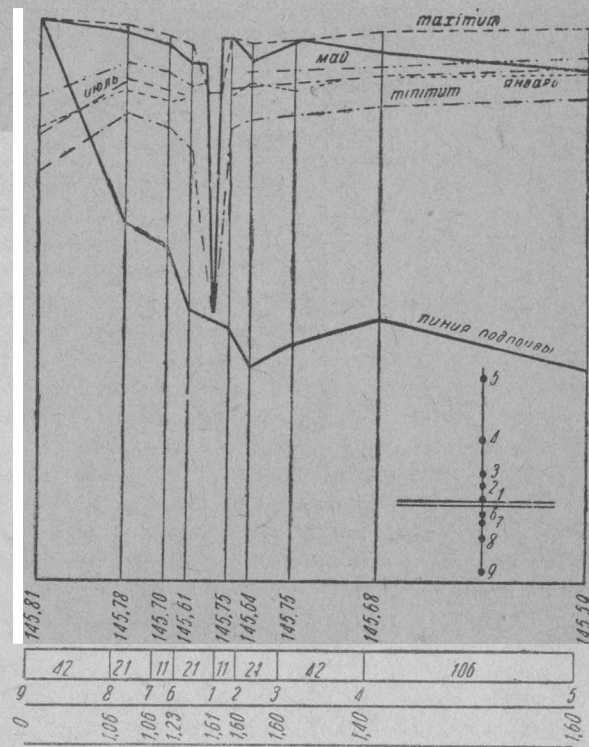


Рис. 2. Профиль грунтовых вод на Оршинском болоте.

канавы в 1,5 м, при различных расстояниях между ними в пределах от 1 до 39 м. Различные расстояния между канавами отразились следующим образом на уровне грунтовой воды в августе 1933 г.¹

Расстояние между канавами м	Глубина грунтовой воды см
2	151
4	136
8	106
16—22	72
33	47
39	39

Из приведенных цифр видно, что действие канав на уровень грунтовых вод в сфагновом болоте очень сильно. Даже незначительная разница в ширине полос, именно 33 и 39 м, вызывает разницу в уровне грунтовой воды в 8 см. Основное осушение болота произведено было здесь в 1928 г., детальное в 1930 г.

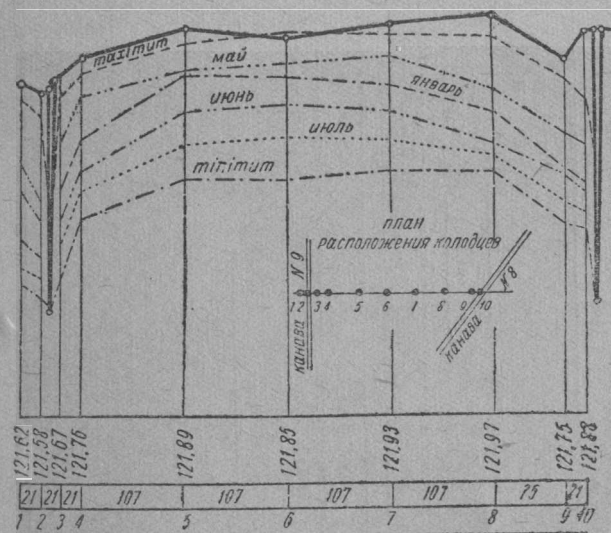


Рис. 3. Профиль грунтовых вод на Раменском болоте.

В отчете Ленинградской зональной мелиоративной болотной станции в разделе „Режим грунтовых вод“ на опытном участке б. Новгородской станции, болотного участка „Красный Лебединец“ и Замошского опорного пункта сказано: „На мелких переходных болотах, где дно канав близко от минеральной подпочвы, уровни грунтовых вод с мая до августа в среднем стоят на глубине осушительных канав и даже глубже, на болотах глубоких (переходных и низинных) понижение уровня грунтовых вод несколько меньше и достигает в среднем 60—65% глубины канавы. На верховых бо-

лотах (глубина около 1 м) этот процент меньше и равен в среднем 40“.

Таким образом основное значение в отчете придается глубине канав, а не расстоянию между ними. Для Замошского опорного пункта за 1926—1931 гг., при глубине сфагнового торфа 2 м расстояние между канавами в пределах от 21 до 52 м не отражалось на уровне грунтовых вод за вегетационный период, что иллюстрируется в отчете (см. табл. 23).

Глубина канав ясно отразилась на глубине стояния грунтовой воды при наличии сельскохозяйственных культур; расстояние же между канавами не отразилось. Этот результат находится в противоречии с приведенными выше результатами наблюдений грунтовой воды Торфяной опытной станции, где также было глубокое сфагновое болото. На мелком торфе Новгородской станции, где канавы врезаются в минеральный грунт, расстояния между канавами согласно отчету заметно влияют на уровень грунтовой воды в вегетационный период.

Не приводя значительного количества других наблюдений, мы на основе их определенно высказываемся за то, что и глубина канав и расстояние между ними кос-

¹ Выписано из машинописного отчета по работе Савенко и Басукинского на Торфяной опытной станции в Редькине.

венно и непосредственно существенно влияют на уровень грунтовой воды на болотах. Пути поступления воды из залежи изложены в главе VI.

Таблица 23

Расстояние между канавами м	Расстояние грунтовой воды от поверхности см	
	при глубине канавы 0,64 м	при глубине канавы 0,85 м
21	41,6	52,8
32	43,4	55,1
43	42,8	52,8
52	44,8	53,1

Весенний максимум уровня

Верховые болота, не затопляемые пришлоими водами, имеют в течение всего года свой внутренний режим грунтовых вод, обусловливаемый атмосферными осадками, снеготаянием, испарением и стоком и независимый от режима реки. Низовые болота, особенно в весеннее время, могут покрываться пришлоей водой из реки, и совершенно ясно, что уровень воды в них и на них обусловлен не внутренним режимом, а внешними факторами: на низинном болоте максимальный уровень грунтовой воды устанавливается в тот день, когда река имеет наибольший подъем. Поэтому весенний режим грунтовой воды собственно на болоте возможно изучить лишь на верховых и переходных болотах, находящихся вне сферы речного затопления.

Но и здесь болото весной, если не затопляется с поверхности, то иногда подтопляется водою из реки, т. е. все же река существенно влияет в некоторых случаях на уровень грунтовой воды верхового болота.

В помещаемых ниже таблицах приведены результаты наблюдений на верховых и низинных болотах, причем низинные болота являются осушенными в целях культуры и потому, как правило, могут лишь подтопляться, а не затопляться речными водами (характеристика болот дана ранее).

В табл. 24 (стр. 38) показано время весенних максимумов грунтовой воды (месяцы и декады). Таблица показывает, что наиболее часто весенний максимум грунтовых вод наблюдается во второй и третьей декаде апреля и в первой декаде мая.

В минеральном грунте парка Лесотехнической академии в Ленинграде за период 1890—1925 гг. весенний максимум грунтовых вод наблюдался обычно в мае.¹

Летний минимум

Летний минимум стояния грунтовой воды на болоте находится, как правило, вне влияния реки. В местах же бывших наблюдений на опорных пунктах по культуре болот это условие несомненно; поэтому все наблюдения летнего минимума могут быть использованы для сопоставления (табл. 25, стр. 39).

Чтобы сделать эти даты наглядными, группируем их по декадам наступлений летних минимумов, обозначивая при этом места наблюдений.

Случаи распределения летних минимумов грунтовой воды по месяцам и декадам приведены в табл. 26 (стр. 40).

Из приведенной группировки видно, что летний минимум грунтовой воды на болотах чаще всего наступает в период третьей декады июля и первой,

¹ В. Н. Оболенский. Климат Лесного.

Таблица 24

Годы	Новгородское болото	Оршинское болото	Раменское болото	Полога	Минская болотная станция	Марьинское болото	Нача-Горницы	Загалье	Погонное
1909	—	IV, 2	IV, 2	—	—	—	—	—	—
1910	—	IV, 2	IV, 3	—	—	—	—	—	—
1911	—	IV, 1	V, 3	—	—	—	—	—	—
1912	—	IV, 12	V, 2	—	—	—	—	—	—
1913	—	VI, 3	III, 3	—	—	—	—	—	—
1914	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1915	—	IV, 1	—	—	—	—	—	—	—
1916	—	III, 3	—	—	—	—	—	—	—
1917	V, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1919	IV, 3	—	—	—	—	—	—	—	—
1920	IV, 3	—	—	—	—	—	—	—	—
1921	V, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1922	VI, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1927	V, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1928	V, 1	—	—	—	V, 2	—	—	—	—
1929	IV, 2	—	—	—	V, 1	V, 1	—	—	—
1930	—	—	—	—	III, 3	IV, 2	—	—	—
1931	—	—	—	—	IV, 3	IV, 3	IV, 1; V, 2	—	—
1932	—	—	—	IV, 1	IV, 1, 2	—	—	—	—
1933	—	—	—	V, 3	III, 2	—	IV, 3; V, 3	III, 3	IV, 2 и 3; IV, 2
1934	—	—	—	III, 3	—	—	V, 1, 2	III, 2 и 3	III, 3

второй и третьей декады августа. Самый ранний минимум был в 1930 г., самый поздний — в 1929. Наблюдения за 1890—1925 гг. в парке Лесотехнической академии в Ленинграде дают в минеральном грунте низшее стояние грунтовой воды в сентябре—октябре.

Осенний максимум

В результате снижения температуры воздуха осенью значительно уменьшается испарение с поверхности болот, являющееся главным фактором, регулирующим уровень грунтовой воды в течение лета и осени; вследствие этого грунтовая вода поднимается и достигает осенью второго максимума.

Время осенних максимумов грунтовой воды приведено в табл. 27 (стр. 41).

Группировка этих дат по месяцам и декадам дает следующую табличку случаев:

Август	Сентябрь			Октябрь			Ноябрь			Декабрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	1	2	4	7	4	14	17	5	2	4	—

Таблица 25

Годы	Новгородское	Оршинское	Раменское	Волховое	Замощское	Галицкое болото	Полога	Нача	Марьинское	Онцевское болото	Загалье	Погонное болото	Минская болотная станция
1909	—	IX, 3; X, 3	VII, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1910	—	VI, 3	VII, 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1911	—	VIII, 1, 2	VII, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1912	—	VI, 3	VIII, 3; X, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1913	—	VIII, 2; IX, 3	VIII, 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1914	—	XI, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1915	—	VIII, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1916	—	VI, 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1917	VI, 1; VIII, 1, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1919	VIII, 1, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1920	VIII, 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1921	IX, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1922	VII, 2, 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1923	VIII, 2, 3; IX, 3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1924	—	—	—	—	VII, 2	—	—	—	—	—	—	—	—
1925	—	—	—	—	VIII, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1926	—	—	—	VIII, 2	VII, 2	—	—	—	—	—	—	—	—
1927	VIII, 1	—	—	VII, 3	VIII, 2	—	—	—	—	—	—	—	—
1928	VI, 1, 2 и 3	—	—	—	—	VI, 3	—	—	VIII, 2; IX, 2	V, 3; VII—VIII	—	—	VIII, 3
1929	VII, 3; VIII, 2, 3	—	—	VII, 2	VIII, 1	VIII, 3; IX, X	—	—	IX, 1	VIII, 3	—	—	IX, 1
1930	VII, 3	—	—	VII, 1; 2, 3	VI, 3; VIII, 2	VI, 2; VII, 2	—	VII, 1	VII, 3	VI	—	—	VI, 3
1931	VI, 2, 3; VII, 3; VIII, 1	—	—	VIII, 2	VIII, 1	—	VIII, 1	VIII, 2	VIII, 1	V, 3; VII, 3	—	IX, 2	VII, 2
1932	VIII, 1—3	—	—	VIII, 1	—	—	VIII, 1	IX, 1	—	—	X, 1	VIII, 1	VII, 1
1933	VII, 3; VIII, 3	—	—	—	—	—	VIII, 2	VII, 3; VII, 1	—	VIII, 1	VIII, 3	VIII, 1	VIII, 2
1934	—	—	—	—	—	—	VII, 1	—	—	—	VII, 1	VII, 1	—

Наибольшее число случаев осеннего максимума грунтовых вод приходится, следовательно, на первую и вторую декады ноября.

Наблюдения за 1890—1925 гг. в парке Лесотехнической академии в Ленинграде в минеральном грунте дают максимум в ноябре.

Главное влияние именно температуры, а не атмосферных осадков, на грунтовые воды осени можно видеть из сопоставления хода этих метеорологических элементов.

Атмосферные осадки и температуры воздуха по данным Обсерватории Лесотехнической академии под Ленинградом в среднем за 1890—1925 гг. приведены в табл. 28 (стр. 42).

Сопоставляя время наступления осеннего максимума грунтовой воды (первая и вторая декады ноября) с количеством выпадающих атмосферных осадков и температурой, мы совершенно ясно видим, что максимум грунтовой воды наступает в период минимума осадков, но как раз в период замерзания болота грунтовая вода медленно спадает вследствие стока ее по канавам.

Таблица 26

Годы	Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1909	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1910	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1911	—	—	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—	—	—	—
1912	—	—	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—
1913	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	1	—	—	—
1914	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
1915	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1916	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1917	1	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—
1918	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1919	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—
1920	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—
1921	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—
1922	—	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1923	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—	—	1	—	—	—
1924	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
1925	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
1926	—	—	—	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
1927	—	—	—	—	—	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—
1928	2	1	2	—	—	2	1	1	1	—	1	—	—	—	—
1929	—	—	—	—	1	1	2	1	4	3	1	1	1	1	1
1930	—	1	4	3	2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1931	1	1	1	—	1	2	5	2	—	—	1	—	—	—	—
1932	—	—	—	—	—	—	5	1	2	1	—	—	—	—	—
1933	—	—	—	2	—	2	3	2	1	—	—	—	—	—	—
1934	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—
Сумма случаев	4	3	10	9	6	13	21	16	12	5	3	3	3	2	1

Зимний минимум уровня

В зимние месяцы наблюдения над грунтовыми водами в смотровых колодцах обычно не производятся. Вода замерзает, колодцы заносятся снегом; там же, где зимние наблюдения производились, точность их невелика.

Мы располагаем следующими зимними данными. В Белоруссии зимний минимум грунтовой воды приходится обычно на февраль, в районе же между Москвой и Калининским зимний минимум не имеет выраженного времени.

По наблюдениям в парке Лесотехнической академии за период 1890—1925 гг.¹ зимний минимум в минеральном грунте наступает в марте.

¹ В. Н. Оболенский. Климат Лесного.

Таблица 27

Годы	Новгородское	Оршинское	Раменское	Погонное	Марьинское	Нача-Горовицы	Галлицкое	Онцевское	Загалье	Минская болотная станция	Полога
1909	—	XII, 1	IX, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1910	—	VIII, 1; XI, 2	XI, 2	—	—	—	—	—	—	—	—
1911	—	X, 3; XI, 2	X, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1912	—	X, 1	XI, 1	—	—	—	—	—	—	—	—
1913	—	IX, 1	XI, 2	—	—	—	—	—	—	—	—
1914	—	XI, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1915	—	XI, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1916	—	X, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1917	XI, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1918	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1919	X, 2, XI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1920	XI, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1921	X, 2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1922	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1927	XI, 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1928	XI, 3	—	—	—	IX, 3; XII, 2	—	X, 1	IX, 3	—	XI, 3	—
1929	X, 2, 3; XI, 1; XII, 2	—	—	—	XI, 2	—	XI, 2; XII, 2	—	—	XI, 2	—
1930	—	—	—	—	XI, 3	XI, 2	X, 2	X, 2	—	XI, 2	—
1931	—	—	—	—	XI, 2	XI, 2	—	X, 3	—	IX, 3	XI, 2
1932	—	—	—	XI, 2	—	XI, 1	—	—	XI, 1	XI, 1	X, 2
1933	—	—	—	XI, 1	—	XI, 2	—	—	IX, 2	IX, 1	XI, 1
1934	—	—	—	XI, 1	—	—	—	—	IX, 1	—	—

Методы изучения уровня воды на болотах

В состав методики входит рассмотрение:

- 1) типов смотровых скважин;
- 2) глубины скважин;
- 3) способа измерения расстояния уровня воды от поверхности;
- 4) расположения смотровых скважин.

Во всех случаях глубина, от которой измеряется расстояние до грунтовой воды в каждой скважине, должны быть связаны между собою и с надежным репером нивелировкой, повторяемой ежегодно.

Типы смотровых скважин. Основное требование, которому должна удовлетворять смотровая скважина, чтобы показания ее возможно более соответствовали действительному положению уровня воды в торфе, состоит в том, чтобы поперечное

сотное положение соответственно колебаниям уровня воды в скважине; проволока скользит по шкале, прикрепленной к скважине, или же каждый раз положение конца проволоки над зафиксированным горизонтом определяется линейкой.

Для непрерывной фиксации уровня воды в смотровой скважине служит прибор-самописец. Составные части его: поплавок, нить, колесо-блок, рычаг, вращающийся цилиндр, часовой механизм, клетчатая бумага, обертываемая на цилиндр.

Все описанные приборы измеряют расстояние от поверхности болота до воды в колодце. Но, как уже указывалось в начале главы, имеется неясность, действительно ли уровень воды в колодце соответствует уровню свободной воды в грунте и даже имеется ли вообще такой уровень воды в самом грунте. Для определения положения уровня свободной воды в грунте необходим такой прибор, который погружался бы в торфяную залежь и автоматически сигнализировал бы звонком или светом момент погружения наконечника прибора в свободную воду. Предлагаемые к настоящему времени такого типа приборы еще не вышли из стадии испытаний.

Кроме возможности сомнения в существе показания смотровых скважин, указывается еще на то, что обычные способы измерения уровня воды в колодце не учитывают влияния атмосферного давления. Так как в торфе, а тем более в минеральных грунтах, имеется воздух, то при уменьшении наружного атмосферного давления вода из грунта выдавливается почвенным воздухом, и уровень воды в колодце поднимается. Насколько велико это поднятие, не прослежено, но нами, например, наблюдалось (Горы-Горки БССР), что ночью вода поступала из грунта в канаву и создавала по дну ее течение воды, а днем при поднятии барометра выход воды из грунта прекращался.

Для уничтожения влияния атмосферного давления на отсчеты уровня воды в смотровой скважине проф. Яковлевым предложен прибор, но практического применения ни этот, ни какой-либо другой прибор не получили.

Сравнительные наблюдения в скважинах. Вопросы методики наблюдений, именно выявление значения глубины колодца, обделки его и общей надежности показаний колодцев, стояли в программе ряда опытных учреждений, но широкой проработке все же не подвергались.

На Волховском осушенном болотном опорном пункте в декабре 1925 г. в расстоянии 1 м от прежних колодцев с дном в песчаной прослойке под торфом заложены были дополнительные мелкие колодцы с дном в торфяном грунте.¹

Наблюдения показали, что в колодцах, заложенных в минеральном грунте, уровень воды стоял за весь период наблюдения ниже, чем в соседних мелких колодцах с дном в торфяном грунте; минеральный грунт оказался на данном участке безнапорным, дренирующим. Размер понижения варьировал с общим измерением уровня грунтовой воды. В паводок уровни совмещены; при низких летних стояниях разница составляла 2—3 см в середине делянки между канавами и 15—20 см около канавы. Зимой разница показаний оказывалась еще большей, достигая 10 см в середине делянки и 20—30 см у канавы. Увеличение разности показаний в колодцах близ канавы свидетельствует, по мнению руководителя станции, о том, что фильтрация грунтовой воды в канаву происходит не непосредственно по торфу, а через минеральный подстилающий грунт.

В Сиверском леспромхозе, в 22 квартале Онцевской дачи, произведено было в 1931 г. сопоставление показаний колодцев не обделанных и обделанных. Для этого в июне 1931 г. было устроено 24 опытных колодца глубиной по 1 м, из которых 12 представляли собою просто высверленные тарелочным буром скважины, а 12 других представляли собою колодцы в виде деревянных сколоченных из пластин труб; нижние концы труб были закрыты. Помимо этого часть колодцев была с крышками, часть без крышек, часть колодцев была окружена глиняной стенкой (замком), часть оставлена без замка.

¹ Результаты гидромодульных работ Приладожской мелиоративной станции за период 1922—1926 гг. Матер. по опытно-мелиор. делу, т. III, 1929. Вып. Гос. ин-та сельскохозяйственной мелиорации.

Наблюдения с 20 июля по 31 октября показали, что уровень воды в обделанных и необделанных колодцах колеблется одинаково, отличаясь друг от друга на 2—3 см в ту или другую сторону, но такое положение создалось лишь к концу августа. В первое же время вода в колодцах с деревянной обделкой стояла на 20 см ниже, чем в колодцах без обделки, что указывает на затрудненность проникновения воды через отверстия в пластинах.¹

Такой же опыт произведен еще в 30 квартале той же дачи, где в 1931 г. устроено было 6 колодцев без обделки и 6 колодцев в виде труб из деревянных пластин; грунт—глина. За время наблюдений с 5 июля по 30 октября оба типа колодцев давали одинаковые результаты.

Обделка колодцев глиняными замками на глубину 30 см от поверхности имеет следствием, как показали наблюдения, большую высоту стояния воды в колодцах в течение лета и меньшую отзывчивость их на выпадение осадков.

Надежность показаний скважин. Когда скважина высверлена целиком в глине, то возникает вопрос, не является ли в этом случае смотровая скважина как бы сосудом с трудно проницаемыми глиняными стенками и действительно ли вода в скважине находится в тесной связи со свободной водой почвы-грунта. Может быть, вода в грунте уже сильно опустилась вследствие испарения или оттока, а в скважине она еще держится, как в сосуде, и, наоборот, в грунте вода, может быть, поднялась от выпавших осадков, а в скважину эта вода не просачивается.

Такое сомнение как бы получило подтверждение при вырытии в 1929 г. почвенной ямы в парковом квартале Лисинского учебного леспромхоза близ имевшейся смотровой скважины: в скважине вода стояла высоко, а в свежесделанной яме воды не оказалось.

Это обстоятельство побудило сделать специальные опытные наблюдения. Именно, рядом с первоначальными смотровыми скважинами 1928 г. были высверлены в августе 1929 г. новые скважины и было произведено сопоставление уровня воды в 42 парах старых и новых скважин через сутки, через 6 суток и в некоторых скважинах через 12 суток после высверливания их.² Дождя за время опыта в течение 12 суток не выпадало. Наблюдения показали следующее.

В песчаном грунте уровни воды во вновь высверленных скважинах при наблюдении через сутки после высверливания оказались на одной высоте с уровнями в старых скважинах.

В торфяном грунте через сутки горизонты воды оказались также выравнивающимися.

В скважинах в глинистом грунте результаты оказались разнородными, но в обобщении разница уровней воды в старых и новых скважинах выразилась величинами: через 6 дней после высверливания—12,4 см; через 12 дней после высверливания—3—6 см.

Таким образом через 12 дней выравнивание в глинистом грунте еще не закончилось, но тенденция к нему очевидна; в тех случаях, когда в глинистом грунте в новой скважине не оказывалось воды, ее не было и в старой скважине. Кроме того оказалось, что в глине уровень воды падает достаточно быстро; в ряде случаев за сутки вода исчезла из колодца.

На основании изложенного следует прийти к выводу, что вода в смотровых скважинах, даже и в глинистом грунте, вплоть до ленточных (осадочных) глин Лисинского леспромхоза, сообщается с водою почвы-грунта, а не изолирована от нее, как могло казаться.³

¹ Обработано ст. техником Богачевым.

² Работа произведена непосредственно аспирантом Орловым.

³ Извлечено из книги А. Дубаха, Осушение лесных земель, 1934.

ПАДЕНИЕ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ В ПЕРИОДЫ БЕЗДОЖДИЯ

Сводные величины суточного снижения

Массовый материал наблюдений над грунтовыми водами дал возможность установить время весенних и осенних максимумов, летних и зимних минимумов уровня. Но материал всякого рода наблюдений получает свое наиболее полезное применение, если он, помимо качественной и количественной констатации, обнаруживает количественную связь между явлениями и особенно между явлениями, проходящими последовательно во времени.

Не требуется, конечно, материала наблюдений для того, чтобы утверждать, что при отсутствии дождя уровень грунтовой воды на болоте снижается. Но такое утверждение без количественного выражения снижения не имеет практической ценности; необходимо указать количественное снижение уровня воды за сутки, за пятидневку и т. д. при определенных исходных и действующих условиях.

Интенсивность снижения грунтовой воды во время отсутствия дождя зависит от стока и испарения с болота.

Факторы испарения — температура воздуха, ветер, расстояние уровня воды от поверхности болота — при измерениях уровня грунтовой воды обычно также фиксируются, и потому представляется возможность сопоставить количественное выражение их с величиной снижения уровня воды. Величина же стока с болот, на которых измерялся уровень грунтовой воды, остается неизвестной, но роль стока несомненно заметна.

Если, например, сток с 1 га равен 0,06 л/сек., что соответствует среднему летнему стоку по Ленинградской области, то это дает снижение зеркала свободной воды за сутки на 0,52 мм, а зеркала уровня грунтовой воды в торфе — примерно на 2,5 мм. При высоком же летнем стоке в 0,3 л/сек. с 1 га суточное снижение зеркала свободной воды произойдет на 2,6 мм, а зеркала грунтовой воды в торфе — примерно на 13 мм.

Таким образом суммарное снижение грунтовой воды складывается из испарения, т. е. величины, зависящей от элементов погоды, и из стока — величины, почти не зависящей от погоды (в период бездождия).

При таком сложении величины снижения уровня грунтовой воды неправильно искать точную связь величины снижения с температурой воздуха или со скоростью ветра; температура воздуха влияет лишь на одно из слагаемых величины снижения — на испарение.

Однако такого расчленения на действие испарения и действие стока мы пока произвести не можем и ограничиваемся заведомо неверной постановкой вопроса: найти связь между температурой воздуха и суточным снижением грунтовой воды на болоте в бездождные периоды.

Для этой цели были сделаны выборки из записей уровней грунтовой воды в бездождные дни за май — октябрь по следующим пунктам (см. табл. 28 на стр. 47).

Таблица 28

Название пунктов	Местонахождение	Годы наблюдений	Число обработан. колодцев
Новгородская болотная станция	Близ Новгорода	1929—1933	8
Замошский опорный пункт	Ленинградская область	1924—1932	9
Волховский опорный пункт	Ленинградская область	1926—1932	8
Онцевский пункт	В 70 км южнее Ленинграда по ж. д. на Витебск	1933—1934	33
Токсовский пункт	В 30 км севернее Ленинграда, ж. д. ст. Токсово	1933—1934	40
Оршинское болото	Калининского района	1909—1916	9
Раменское болото	Московская область	1909—1914	16
Марьинское болото	БССР бассейн Птичи	1928—1932	28
Загальское болото	БССР бассейн Птичи	1932—1934	11
Погонное болото	БССР бассейн Припяти	1931—1934	42
Болото Полота	БССР, Полоцк	1931—1933	24
Комаровское болото	Возле Минска	1928—1934	46

Среднее за все время наблюдений суточное снижение уровня грунтовой воды в бездождные периоды составило:

1. На сильно осушенном Замошском опорном пункте по девяти колодцам за период 1924—1931 гг. 19,5 мм
Болото осушено с расстоянием между канавами в 32—54 м.
2. На сильно осушенном Погонном болоте в БССР за период 1931—1934 гг. 19,2 "
3. На средне осушенном Онцевском лесном участке в 1934 г. по 33 колодцам суточное снижение 18 "
Сосна по сфагновому болоту, средняя мощность торфа 35 см, разложение слабое; подстилается суглинком и синей глиной. Осушение с расстоянием между канавами 200 м.
4. На сильно осушенном Волховском опорном пункте по восьми колодцам за период 1926—1932 гг. суточное снижение 14 "
Болото осушено с расстоянием между канавами в 25—100 м.
5. На сильно осушенном болоте Новгородской опытной станции по шести колодцам за период 1930—1933 гг. 13,5 "
Болото осушено с расстоянием между канавами в 15—30 м, закультивировано.
6. На слабо осушенном Оршинском сфагновом болоте за период 1909—1916 гг. суточное снижение грунтовой воды 13,3 "
Расстояние между канавами около 1000 м.
7. На слабо осушенном Раменском переходного типа болоте, при расстоянии между канавами 700—1000 м, среднее суточное снижение грунтовой воды за период 1909—1913 гг. 11,7 "
8. На осушенном Загальском болоте в БССР, низинного типа, за период 1932—1934 гг. 10,9 "
9. На сильно осушенном Марьинском болоте в БССР, низинного типа, за 1928—1932 гг. 10,4 "
10. На неосушенном Токсовском сфагновом болоте в 1933 г. по сравнительно точным наблюдениям ГГИ получена средняя величина суточного снижения воды в бездождные периоды 6,3 "
11. На неосушенном сфагновом болоте „Гладкое“ в 50 км к ЮЮВ от Ленинграда, за 1934 г. 6,0 "

Приведенные обобщенные величины суточного снижения грунтовой воды в бездождные периоды сразу вносят ясность в это дело.

На осушенных болотах среднее суточное снижение находится в пределах от 19,5 до 10,4 мм, на неосушенных же суточное снижение находится в пределах от 13,3 до 6,0 мм, т. е. значительно ниже.

Среднее суточное снижение грунтовой воды для осушенных болот оказывается равным 15,1 мм, для неосушенных—9,3 мм.

Если получившуюся разницу в суточном снижении грунтовой воды на осушенных и неосушенных болотах отнести за счет осушительных канав, то окажется, что канавы снижали уровень грунтовой воды в период май—октябрь за сутки на 5,8 мм. Величина эта, конечно, не претендует на достаточную точность, но все же дает реальное представление и согласуется с модулем стока 0,13 л/сек. с 1 га (если принять, что отвод 1 мм воды соответствует снижению грунтовой воды в торфе на 5 мм).

Значение температуры воздуха

Первым уточнением приведенных огульно средних величин суточного снижения грунтовой воды является расчленение материала на группы по температуре воздуха за периоды понижения. Суточное снижение грунтовой воды в миллиметрах в зависимости от среднесуточной температуры воздуха приведено в табл. 29.

Таблица 29

Места наблюдений	Средняя суточная температура °С																								
	1-5					6-10					11-15					16-20					21-25				
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25					
Новгородская болотная станция																									
Расстояние между канавами 10—15 м	7,5	14,6	13,8	14,4	—	2	8	6	8	1															
„ „ „ 20—30 „	5,5	11,8	14,2	13,5	—	2	8	5	8	1															
Замошский опорный пункт																									
Расстояние между канавами 21—32 м	10,6	17,6	17,4	21,6	—	7	19	11	28	1															
„ „ „ 42—54 „	12,4	15,4	22,4	25,9	—	7	20	13	25	1															
Волховский опорный пункт																									
Расстояние между канавами 25 м	8,8	9,1	12,3	10,9	7,3	4	7	19	21	3															
„ „ „ 50 „	12	11,5	14,7	17,2	17,3	3	7	15	15	3															
„ „ „ 100 „	12,0	11,5	14,2	17,2	17,3	3	7	14	15	3															
Онцевский лесной участок Оршинское болото																									
Низина, 190 м от канавы	7,2	5,2	8,2	9,4	15,0	6	6	14	19	2															
Средн. пол., 21 м от канавы	5,3	5,7	6,9	16,0	10,0	8	7	13	17	2															
Минеральный грунт	11,5	19,2	23,7	38,0	—	5	9	8	12	—															
Раменское болото (все колодцы в торфу)																									
Низина 245 м от канавы	6	8	9	11	18	3	4	10	11	1															
От канавы 138 м	6	7	7	12	14	3	3	9	13	1															
„ „ 106 „	11	10	14	18	24	1	3	9	6	1															
Раменское болото (неосушенная часть, линия первая)																									
Колодец № 1	10	10	12	23	20	2	2	9	13	1															
„ № 4	10	7	7	10	7	3	3	10	12	2															
„ № 2	6	7	8	13	22	3	4	10	13	1															
„ № 3	5	5	6	9	12	2	4	9	14	1															
„ № 5	9	8	9,9	10,8	20	3	4	9	14	1															
„ № 6	5	7,5	9,8	8,7	24	3	4	9	13	1															

Табл. 29 совершенно ясно указывает, что чем выше суточная температура, тем интенсивнее идет суточное снижение грунтовой воды в бездождные периоды. Наилучшие графики при большом числе наблюдений получаются для Замошского опорного пункта, наблюдения по которому вообще наиболее добросовестны. Этот же материал дает хороший пример для уяснения результатов математической обработки цифр в зависимости от методики обработки.

Если взять по Замошскому болоту цифры табл. 29 и соединить обе строки, взяв средние величины, то получается для этого болота сводная табличка в следующем виде:

<i>t</i> среднесуточная температура °С	<i>h</i> среднесуточ- ное снижение грунтовой воды мм
1—5	11,5
6—10	16,5
11—15	20,0
16—20	23,6

Построив график по полученным средним четырем связям суточного снижения грунтовой воды и суточной температуры, получаем почти в точности прямую линию, что указывает на самую совершенную связь (рис. 5).

Коэффициент корреляции между *h* и *t* вычисляется из этой таблицы осредненных величин равным: $r = +0,99$. Этой величиной коэффициента корреляции еще раз подтверждается самая совершенная связь между *h* и *t*.

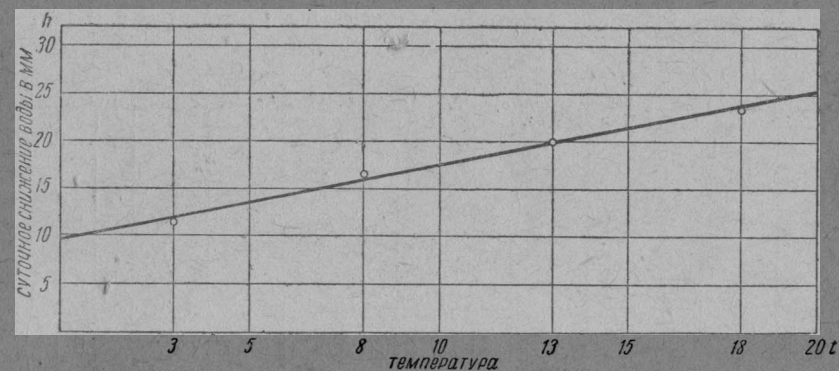


Рис. 5.

Уравнение регрессии:

$$h = 9,6 + 0,79 \cdot t,$$

где *h* — суточное снижение грунтовой воды в миллиметрах, *t* — среднесуточная температура воздуха.

Однако полученная теснейшая связь между *h* и *t* разрушается, если нанести на график не осредненные значения *h* и *t*, а все непосредственно наблюдаемые 133 пары взаимных значений *h* и *t* (рис. 6).

График получается достаточно рассеянным, и провести на-глаз по нанесенным точкам прямую линию является невозможным.

Коэффициент корреляции вычисляется уже в совсем другой величине: $r = +0,37$ что указывает на незначительную связь между *h* и *t*. Уравнение регрессии при этом получается: $h = 11,85 + 0,61 \cdot t$. Оно по численным результатам близко к предыдущему.

Следовательно, группировкой первичного материала оказывается возможным искусственно сглаживать все шероховатости и получать осредненные величины двух рассматриваемых элементов в очень тесной взаимной связи, не соответствующей действительности.

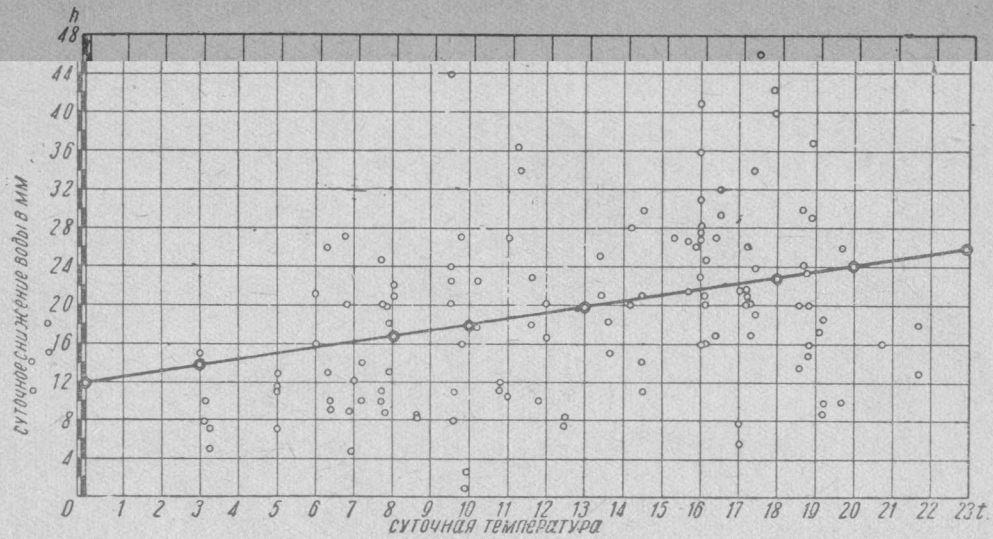


Рис. 6.

Однако относительно рассматриваемых материалов необходимо заметить, что если бы наблюдения велись безукоризненно точно, с немедленным контролем их, то корреляционная связь несомненно получилась бы более тесная и при сопоставлении всех первичных наблюдений, без осреднения их.

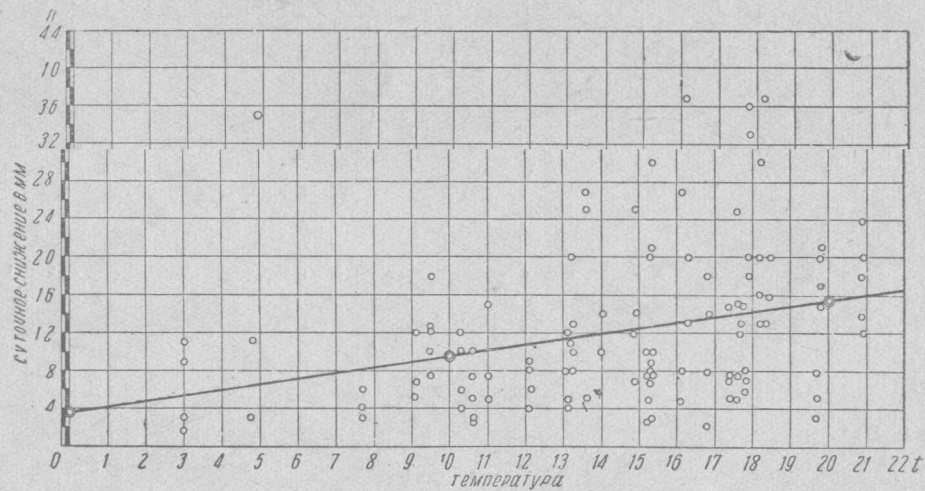


Рис. 7.

По Раменскому болоту для 140 пар наблюдений суточного снижения грунтовой воды h в зависимости от средней суточной температуры получено (рис. 7):

$$r = +0,34; h = 3,4 + 0,59 \cdot t$$

(при h в миллиметрах).

По Оршинскому болоту для 126 пар наблюдений имеем еще худшую корреляцию:

$$r = +0,285; h = 4,37 + 0,439 \cdot t.$$

Соответствующий точечный график (рис. 8) показывает действительно очень слабую зависимость h от t .

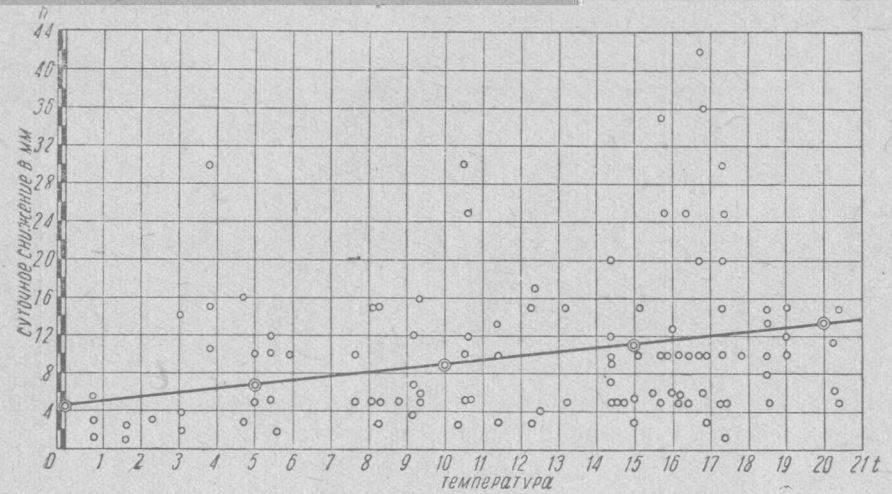


Рис. 8.

Для Волховского опорного пункта имеем плохую осредненную таблицу сопоставления h и t из 139 пар наблюдений:

t Среднесуточная температура °C	h Среднесуточное снижение грунтовой воды мм
1-5	10,7
6-10	9,8
11-15	13,7
16-20	14,5
21-25	14,0

$$h = 0,23 + 9,55 \cdot t; r = 0,84.$$

Для Новгородской болотной станции имеем осредненную таблицу сопоставления h и t из 49 пар наблюдений:

t Среднесуточная температура °C	h Среднесуточное снижение грунтовой воды мм
1-5	6,5
6-10	13,2
11-15	14,0
16-20	14,0
21-25	17,0

$$h = 0,44 + 7,2 \cdot t; r = 0,89.$$

Группировка по месяцам. По некоторым болотам не имелось данных о средней суточной температуре; поэтому здесь взамен температуры приходится произвести сопоставление понижения грунтовой воды в бездождные периоды с временем наблюдения и группировать наблюдения по календарным месяцам. Месяцы весны, лета и осени специфичны по своей средней температуре, и она должна отражаться на темпе снижения грунтовой воды.

Суточные снижения грунтовой воды в миллиметрах по календарным месяцам приведены в табл. 30.

Таблица 30

Места наблюдений	Число лет	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Токсовское болото Ленинградской области . . .	2	3,4	6	7,5	9	8,5	3,5	—
Марьинское болото БССР	5	—	19	11,1	16	7	7,4	6,4
Загальское болото БССР .	3	—	10,5	21,1	15,6	15,7	7,9	6,1
Погонное болото БССР .	4	—	23,0	26,4	28,1	15,9	14,5	11,7

Увеличение суточного снижения грунтовой воды в наиболее теплые месяцы лета на указанных болотах выражено с большой правильностью.

Значение расстояния грунтовой воды от поверхности

Уровень грунтовой воды в обработанном материале наблюдений находился в пределах от 0 до 1,3 м ниже поверхности, вследствие чего на стр. 47 собраны самые разнородные условия стояния грунтовой воды. Поэтому вторым необходимым уточнением будет расчленение материала на группы по исходному расстоянию уровня

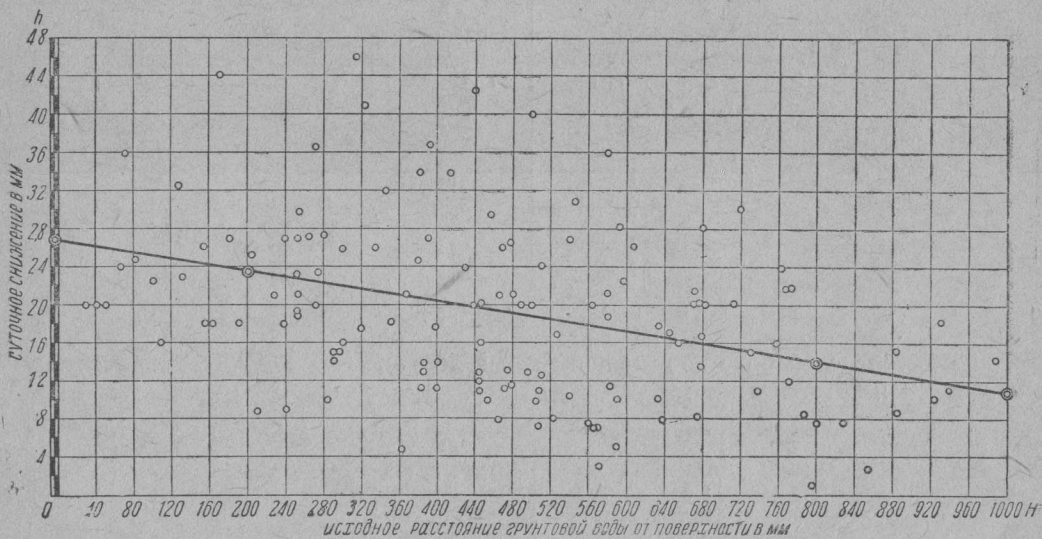


Рис. 9.

воды от поверхности. Следует, конечно, ожидать, что чем ниже уровень воды от поверхности болота в начале бездождного периода, тем медленнее идет дальнейшее снижение уровня.

Распределение материала в группы с интервалами величин исходных расстояний по 10 см дает следующие средние величины суточных снижений в миллиметрах (табл. 31).

Места наблюдений	Число пар наблюдений	Исходные расстояния от поверхности, см													
		1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	131-140
Снижение грунтовой воды за сутки, мм															
Новгородская болотная ст.															
Расст. между дренами 10—15 м	25	—	—	—	—	23,0	15,5	13,0	3,7	—	—	—	—	—	—
" " " 20—30 "	24	—	—	—	15,2	16,2	10,2	8,3	12,0	—	—	—	—	—	—
Замошский опорный пункт															
Расст. между канавами 21—32 м	65	—	38,1	22,0	20,2	20,1	16,7	16,0	14,2	14,0	11,0	—	—	—	—
" " " 42—54 "	66	23,0	23,8	19,4	28,3	20,7	19,2	19,0	17,7	—	14,0	—	—	—	—
Волховский опорн. пункт															
Расст. между канавами 25 м . .	54	—	10,4	12,1	11,4	9,1	9,9	2,5	—	—	—	—	—	—	—
" " " 50 " . . .	43	—	14,4	13,5	15,0	18,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" " " 100 " . . .	42	—	17,0	13,4	15,6	15,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Онцевский лесной участ.															
Группа 1	—	—	—	28	25	11	8	—	—	—	—	—	—	—	—
" 2	—	21	—	27	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" 3	—	17	30	16	—	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" 4	—	16	29	16	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" 5	—	—	21	—	17	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Токсовское болото	—	11	12	—	23	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Оршинское болото															
Низина, 190 м от канавы . . .	47	5,4	5,9	8,7	15,0	18,5	17,0	1,6	10	—	—	—	—	—	—
Сред. полож. 21 м от канавы .	45	—	7,5	8,0	6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Минеральный грунт	35	—	—	44,4	21,5	44,1	36,6	16,5	11,0	—	—	—	—	—	—
Торф. опытн. ст. на Галицком болоте 1928—1930 гг.	27	—	—	20,0	—	—	17,6	15,4	14,6	9,6	—	—	—	—	—
Раменское болото, Моск. обл.															
Низина, 245 м от канавы . . .	26	—	7,4	12	13	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
От канавы 138 м	28	—	5	5	13	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" " 106 "	19	—	16,5	22	11	12	18,9	—	12	—	—	—	—	—	—
Колодец 1 второй линии . . .	—	—	—	—	—	—	22	15	25	18	13	29	8	10	14
" 4 " "	—	5	5	11	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" 2 " "	31	—	7,5	6,5	10,2	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" 3 " "	30	5,0	5,1	4,8	8	16	10	—	—	—	—	—	—	—	—
" 5 " "	31	—	7,5	6,6	12,3	16,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
" 6 " "	30	—	12	6,5	7,0	8,6	10,4	—	—	—	—	—	—	—	—
Марьинское болото, БССР															
Колодец № 8	19	—	—	—	—	18	15,8	11,4	6,1	6,0	2,5	6,0	—	—	—
" № 7	24	—	—	—	28	27,5	6,2	12,6	8,5	8,2	5,7	—	—	—	—
Загальское болото, БССР															
От канавы 50 м	22	—	—	—	—	22,4	—	16,3	12,4	5,9	6,2	3,1	3,3	—	—
" " 50 "	25	—	—	—	—	—	—	21,3	22,7	7,5	14,6	6,8	13,3	3,6	5,0
" " 20 "	25	—	—	—	—	28	—	23,6	10,3	7,1	8,0	10,8	6,0	5,0	—
Погонное болото, БССР															
От канавы 60 м	32	29,7	22,5	15,2	22,4	20,7	21,6	20,4	16,1	12,4	11,2	—	4,5	—	—
" " 100 "	12	—	—	—	—	31,0	25,0	—	16,0	—	15,5	—	—	—	—
" " 180 "	34	—	57,0	—	24,1	28,7	20,7	15,9	22,1	11,4	7,5	12,0	13,3	12,3	—

Математическая обработка материала по болотам, выявляющим наилучшую связь между снижением грунтовой воды и исходным расстоянием ее от поверхности, дает возможность находить коэффициент корреляции между ними и связующие уравнения регрессии.

По Замошскому болоту из табл. 31 вычисляем сводную табличку осредненных величин (табл. 32):

Таблица 32

Расстояние грунтовой воды от поверхности в начале периода мм	Суточное снижение грунтов воды в без-дождный период мм	Вычисленные коэффициенты корреляции и уравнение регрессии
150	27,3	$r = -0,86$
250	20,6	$h = 28,5 - 0,017 H$
350	24,0	(h и H в мм)
450	23,7	
550	17,2	
650	16,8	
750	16,0	

Получаем по осредненным величинам хорошую зависимость между h и H .

Если же нанести на график все непосредственные наблюдения H и h на Замошском болоте (рис. 9), то получается значительное рассеяние точек. Соответственно этому и коэффициент корреляции, вычисляемый по 137 взаимным парам H и h , окажется иным:

$$r = -0,39;$$

уравнение регрессии:

$$h = 26,7 - 0,016 H,$$

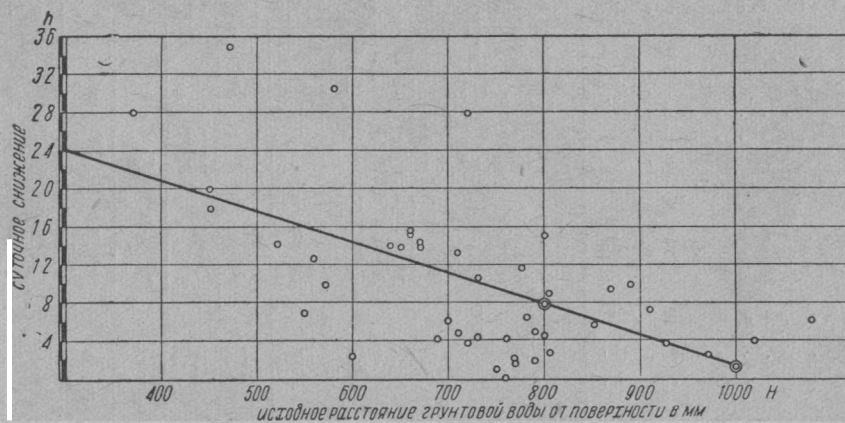


Рис. 10.

где h и H выражаются в миллиметрах.

По Марьинскому осушенному болоту непосредственно по 44 обработанным парам наблюдений имеем:

$$r = -0,60; \quad h = 33,5 - 0,0323 H.$$

График распределения (рис. 10) подтверждает удовлетворительную связь между h и H .

По Загальскому осушенному болоту непосредственно по 76 обработанным парам наблюдений имеем (рис. 11):

$$r = -0,617; \quad h = 36,4 - 0,0289 H.$$

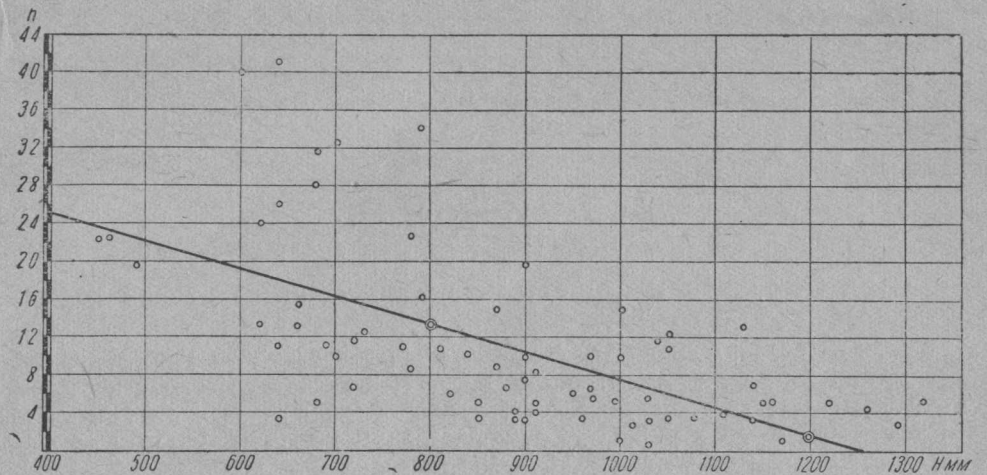


Рис. 11.

Во всех уравнениях h и H берутся в миллиметрах.

Марьинское и Загальское болота находятся поблизости друг от друга, и уравнения связи h и H по ним схожи.

Из этих уравнений можно условно вычислить, что снижение грунтовой воды прекратится при достижении следующей глубины ее от поверхности болота:

- по Замошскому болоту $h = 0$ при $H = 1,67$ м
- „ Марьинскому „ $h = 0$ „ $H = 1,04$ „
- „ Загальскому „ $h = 0$ „ $H = 1,26$ „

Условные величины расстояний получились достаточно вероятные.

ПОВЫШЕНИЕ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Сводные величины относительного поднятия грунтовой воды

Материалы обработаны по тем же болотам, что и снижение уровня воды. Были выбраны дни выпадения дождя после нескольких дней бездождья с последующим бездождем в течение нескольких дней. Таким образом влияние одно- и двухдневного дождя выявлялось совершенно резко на подъеме воды на следующий же день и затем на быстром опускании воды в последующие дни.

На интенсивность поднятия действовали следующие факторы: 1) величина выпавшего дождя; 2) расстояние уровня грунтовых вод от поверхности болота перед дождем, называемое в дальнейшем „исходным положением“.

Общая огульная величина поднятия грунтовой воды в смотровых скважинах оказалась на каждый миллиметр выпадения атмосферных осадков следующей:

Новгородская опытная станция за 1929—1933 гг.	5,2 мм
Замошский опорный пункт за 1924—1931 гг.	6,3 "
Волховский опорный пункт за 1926—1932 гг.	4,3 "
Онцевское болото в 1934 г.	4,7 "
Марьинское болото за 1928—1931 гг.	4,0 "
Загальское болото 1932—1934 гг.	3,2 "
Раменское болото за 1909—1913 гг.	4,0 "
Погонное болото за 1931—1933 гг.	6,0 "
Оршинское болото за 1909—1916 гг.	4,6 "

Рассмотрение этой сводки сразу же ориентирует нас в количественном соотношении между выпадением осадков и поднятием грунтовой воды: на каждый миллиметр дождя приходится 4—6 мм поднятия грунтовой воды в смотровой скважине при всей неточности и бесконтрольности наблюдений все же средние величины из массового материала оказались схожими.

В дальнейшем отношение величины повышения грунтовой воды к высоте выпавшего дождя будем называть нормою повышения грунтовой воды; если, например, дождя выпало 12 мм, и грунтовая вода поднялась на 36 мм, то норма повышения равна трем.

Полученные величины не выявляют связи нормы повышения с интенсивностью осушения. Возможно как будто утверждение, что интенсивно осушенные болота дают более резкое повышение грунтовой воды (Новгород, Замошье, Погонное) против слабо осушенных Оршинского, Раменского, Онцевского болот.

Необходимо обратить внимание на то, что поднятие уровня воды в смотровых скважинах начинается не только вскоре, но даже через несколько минут после выпадения дождя. Это обстоятельство замечено при специальных наблюдениях в 1928 г. на болоте Минской опытной станции,¹ а также самописцами на Волховском опорном пункте. Между тем дождевая вода едва ли может так быстро про-

¹ Други год працы Бел. Н. Досл. Ин. С. и Лес. Госп. 1928.

никнуть через толщу торфа по вертикали в 50—70 см и совершенно не может так скоро проникнуть по горизонтальному пути из торфа в смотровую скважину.

Обоснованного объяснения столь быстрого воздействия выпавшего дождя на уровень воды в смотровой скважине не имеется. Высказывается предположение, что выпавший слой дождя, заполняя промежутки верхнего горизонта торфа, увеличивает давление воздуха в нижележащих горизонтах торфа и тем выжимает воду в смотровые скважины. В подтверждение этого можно привести результаты наблюдений барометрического давления в разных горизонтах почвы, произведенные А. Трофимовым.¹ Оказалось, что изоляция воздуха в почве от наружного воздуха выпадающими атмосферными осадками вызывает резкое сжатие воздуха в почве до 20 мм столба ртути, причем сжатие наступает скачком после выпадения осадков. Однако, ясности в этом объяснении нет; сжимаемый почвенный воздух может иметь выход в скважину, не вызывая подъема воды.

Влияние величины выпавшего дождя

Всякий дождь задерживает снижение грунтовой воды, но чтобы остановить снижение и, тем более, вызвать подъем воды в торфяном болоте, необходимо выпадение осадков не менее нескольких миллиметров. Начиная с величины дождя в 5 мм влияние его на поднятие грунтовой воды становится значительным, но здесь материал наблюдений дал неожиданный результат. Казалось бы, чем сильнее дождь, тем каждый миллиметр высоты его должен вызывать соответственно больший подъем грунтовой воды; если малый дождь вовсе не поднимает грунтовой воды и расходуется целиком на смачивание верхнего слоя болота, то с увеличением дождя большая доля его должна идти на повышение грунтовой воды, и этим самым норма повышения должна бы увеличиваться. К удивлению, этого не оказалось.

На большинстве болот норма повышения не зависит от интенсивности дождя, а на Новгородском и Раменском болотах повышения грунтовой воды ясно уменьшаются с увеличением интенсивности дождя. Не оказалось болота, на котором с увеличением интенсивности осадков увеличилась бы величина поднятия грунтовой воды, приходящаяся на 1 мм осадков (норма повышения).

Поднятие грунтовой воды (мм), соответствующее 1 мм осадков при различной интенсивности осадков, иллюстрируется табл. 33 (стр. 58).

Значительная пестрота и во многих случаях незакономерность цифр зависит, помимо бывшей бесконтрольности наблюдений, еще от пестроты интенсивности самих дождей. При нахождении метеорологической станции в нескольких километрах от смотровых скважин, как это имеет место в действительности, величина осадков, замеренная на станции, может значительно отличаться от величины осадков, выпавших на месте наблюдения грунтовых вод.

Однако общий вывод из табл. 33 уже был сделан: 1) интенсивность дождя не вызывает увеличения нормы повышения грунтовых вод; 2) в некоторых случаях (Раменское, Новгородское болота) интенсивность дождя даже снижает норму повышения грунтовых вод.

Возможное объяснение этого заключается в том, что верхние слои торфа суше нижних, и потому на насыщение их при постепенном поднятии грунтовой воды требуется больше влаги, что и вызывает замедление поднятия.

Значение исходного положения грунтовой воды

Чем дальше от поверхности стоит грунтовая вода, тем большая часть атмосферных осадков должна задерживаться по вертикальному пути до уровня грунтовой воды и тем, следовательно, должна быть меньше норма повышения грунтовой воды.

¹ А. Трофимов. Колебания барометрического давления в почве. Журнал геофизики, т. IV, 1934.

Табл. 34 дает и в этом отношении иной результат. Почти на всех болотах оказалось, что чем глубже стояла грунтовая вода, тем больше была норма повышения грунтовой воды, т. е. тем большее повышение приходилось на каждый миллиметр выпадавшего дождя. Полная согласованность в этом отношении почти всех наблюдений исключает возможность ошибки. С особенной правильностью это увеличение нормы повышения выявилось по Замошскому болоту, где наблюдения были вообще наиболее аккуратны; затем совершенно правильное возрастание нормы показывает Раменское болото по каждому из девяти обработанных колодцев и Онцевское болото. Болота Волховское, Оршинское, Погонное не столь правильно, но ясно обнаруживают ту же тенденцию. Лишь Новгородское и Марьинское болота показывают снижения нормы повышения грунтовой воды. Поднятие грунтовой воды (в миллиметрах) на 1 мм атмосферных осадков в связи с исходным расстоянием грунтовой воды от поверхности (в сантиметрах) приведено в табл. 34.

Рассмотренный вопрос о повышении грунтовой воды под влиянием выпадающих атмосферных осадков является самым непроработанным. По указанной уже причине—дальности расстояния дождемерных постов от пунктов наблюдения грунтовой воды—шероховатости неизбежны даже при самых аккуратных наблюдениях.

Полученные неожиданные результаты требуют организации точных наблюдений и выяснения существа процессов:

1) почему вода в смотровых скважинах поднимается сразу после выпадения дождя, когда дождевая вода еще не могла успеть просочиться до уровня грунтовой воды;

2) почему при увеличении интенсивности дождя влияние каждого миллиметра дождя на уровень грунтовой воды в скважинах снижается;

3) почему действие дождя на грунтовую воду сильнее при низком стоянии воды.

Предварительные соображения

По опубликованным материалам наблюдений Новгородской станции по культуре болот, торфяной опытной станции на Галицком болоте и некоторых других пунктов, количество атмосферных осадков, выпадающих на сфагновое болото за время май—сентябрь в зоне севернее линии Минск—Москва больше, чем за то же время испаряется воды с болота. Поэтому со сфагнового болота неизбежен сток не только снеговой, но и летней дождевой воды.

При плотном торфе низинных луговых болот заметная часть воды может стекать по поверхности; на верховых же сфагновых болотах, покрытых слоем охеса, неразложившегося еще в торф мха, самые сильные дожди, выпадающие после засушливого периода на поверхность выпуклой части торфяника, проходят целиком вниз и идут на повышение грунтовой воды. Вследствие выпуклости верхового болота грунтовая вода стекает от центра к периферии, где выходит наружу и делает окраину сфагнового болота трудно проходимой.

Торфяная толща имеет сложную структуру: слои различной степени разложения налегают друг на друга без последовательного порядка; ниже находятся иногда слои меньшего разложения, и так называемые „обращенные“ торфяники имеют целые толщи слабо разложившегося сфагнома под верхним более разложившимся слоем сфагнома же. Различное разложение, различная зольность и различие в растениях-торфообразователях создают различную водопроницаемость торфяной залежи по слоям ее. Сильно разложившийся и зольный „пограничный“ горизонт является сравнительно водонепроницаемым, образующим над собою скопление свободной гравитативной воды, ищущей выхода по направлению наибольшего уклона и наибольшей проницаемости торфа. На откосах канав иногда можно ясно видеть зону выступающей из торфа воды в виде блестящей полосы.

Вопрос о проницаемости торфа для воды решался еще недавно чрезвычайно различно и так же различны были практически существенные выводы из него.

Все почвенные породы, слагающие бассейны рек, можно по свойствам их относительно воды схематически разделить на следующие основные группы:

1. Породы проницаемые: а) невлагоемкие: пески, галька, трещиноватый известняк; б) влагоемкие: подзолистые почвы, речные и овражные выносы, мел; эти породы, вернее, следует назвать полупроницаемыми влагоемкими.

2. Породы непроницаемые: а) невлагоемкие: кристаллические породы, плотные песчаники, сланцы; б) влагоемкие: глина, торф, лесс.

Если пластинку из воздушно-сухой глины смачивать с одной стороны водой, то она жадно впитывает воду, увеличиваясь в размере, т. е. разбухая, до тех пор, пока не наступит насыщение. После этого поверхность глины уже не примет в себя воды, так как через тело свое жирная глина воду фильтровать не будет; насыщенная водою глина для воды практически непроницаема.

Вопрос о торфе в отношении его водопроницаемости, как и в отношении других его свойств, является более сложным, чем и объясняются длительные разногласия.

Гидрогеолог дореволюционного времени С. Н. Никитин, бывший председатель Гидрологического комитета того времени, производивший специальные полевые исследования истоков Волги, Днепра, Оки и других рек, причислял торф к породам проницаемым влагоемким и делал из этого соответствующий вывод: ¹ торф поглощает воду дождей и снега и отдает ее затем в течение лета рекам как грунтовую; торфяное болото, следовательно, благоприятствует летнему питанию реки.

Наряду с таким суждением имелось и иное, относившее торф к породам непроницаемым, как глина, с соответствующим также выводом из этого: торфяное болото поглощает всю дождевую воду, а затем испаряет ее обратно в атмосферу, не отдавая на питание рек. ²

Это различие в мнениях относительно проницаемости торфяного грунта для воды может быть разрешено только путем опыта и наблюдения.

Schreiber ³ в последнее время пишет: „Водонепроницаемость насыщенного водою торфа часто превосходит непроницаемость коллоидальной глины. Молодой сфагновый торф вследствие сохранения структуры растений имеет большую водопроницаемость, чем разложившийся торф, потерявший структуру“.

Лабораторные исследования

Первые наиболее обстоятельные опыты над просачиванием воды через торф были произведены в Государственном институте сельскохозяйственных мелиораций в Москве. ⁴ Опыты производились над просачиванием в лаборатории через монолиты, вырезанные с ненарушенной структурой из торфяной залежи Оршинского и Замошского болот.

Испытывавшиеся монолиты заливались смесью парафина, канифоли и вара, образовавшей вокруг монолита плотно прилежавшую пленку, не допускавшую просачивания воды между торфом и стенкой, после чего монолит заключался в деревянный ящик. Вода поступала на верхнюю поверхность монолита из банки, с постоянным уровнем; из нижнего конца монолита вода поступала в мерный сосуд. Деление объема собравшейся в сосуде воды на площадь поперечного сечения монолита, с учетом времени, давала скорость фильтрации через монолит без учета порозности его. Так как движение воды происходит только по порам грунта, то для получения действительной скорости движения по грунту следует делить получаемый результат на порозность грунта в десятичной дроби.

Опыты произведены над несколькими монолитами.

1. Монолит осоково-гипнового торфа с Замошского опорного пункта первоначальной высоты 1 м, после осадки 0,86 м, поперечного сечения $14,6 \times 12 = 175 \text{ см}^2$; зольность 6,17%, удельный вес 1,39, порозность 77%, полная влагоемкость 964%, степень разложения 69%. За первые три часа средняя скорость движения воды через монолит, с учетом порозности его в 77%, оказалась 5,5 см в час или 1,32 м в сутки, затем скорость просачивания постепенно затухала и к концу четвертого месяца опыта оказалась равной всего 0,0044 см в час, или 0,001 м в сутки, т. е. практически оказалась равной нулю.

2. Монолит осоково-гипнового торфа с того же Замошского опорного пункта: длина 1 м, зольность 3,72—4,62%, удельный вес 1,29%, порозность 89%, полная влагоемкость 1113%, степень разложения 24—69%.

Скорость просачивания за первые 8 часов, с учетом порозности, оказалась 12,8 см в час или 3,07 м за сутки, а через два месяца к концу опыта скорость оказалась всего 0,1 м в сутки.

¹ С. Н. Никитин. Бассейн Волги. Исследования Гидротехнич. отдела экспедиц. для исследования источников главнейших рек Европ. России. 1899.

² Е. В. Оппоков. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра и его составных частях. 1914.

³ Schreiber. Moorkunde nach dem gegenwärtigen Stande des Wissens auf Grund 30-jähriger Erfahrung. 1927.

⁴ Я. Я. Гетманов. Водные свойства торфяных грунтов. Материалы по опытно-мелиоративному делу, т. III, 1929.

3. Монолит с Оршинских болот, Калининского района; сфагновый торф, высота после осадки 178 см, зольность 1,51—5,31%, полная влагоемкость 522—889%, удельный вес 1,29—1,36. Начальная скорость просачивания—1,14 м в сутки, к концу опыта—0,025 м в сутки.

4. Монолит с Оршинского болота, пушице-сфагнового торфа; высота 2,34 м, площадь сечения $15 \times 19,5 \text{ см}$, зольность 1,41—2,75%, удельный вес 1,2, полная влагоемкость 650—1414%, степень разложения 25—40%. Опыт велся более года. Скорость фильтрации изменилась от 3,6 до 0,307 см в час.

Не приводя дальнейших примеров, дадим лишь общие выводы из этих опытов просачивания воды через торфяной грунт, сформулированные Я. Я. Гетмановым в 1928 г. на II Всесоюзном гидрологическом съезде.

1. При первоначальной подаче воды к монолиту водопроницаемость торфа всех видов велика, и чем менее разложился торф, тем легче он пропускает воду; сфагновые грубые торфа в этом случае являются наиболее пористыми и хорошо фильтрующими воду.

2. Способность проводить воду в торфяных почвах еще более увеличивается, если в торфе имеются древесные остатки и грубые стебли крупных растений.

3. Однако при непрерывной подаче воды при фильтрации в каждой торфяной почве происходит закономерное замедление скорости, в плотных торфах быстро, в пористых медленно. В конце опытов скорости в плотных торфах, хорошо разложившихся, делаются настолько незначительными, что практически могли быть приравнены нулю, при этом ни изменение температуры, ни изменение барометрического давления не сказывается на расходе воды.

4. Замедление скорости фильтрации воды по всем признакам происходит вследствие разбухания гумусовых растительных остатков.

5. Главную роль в прекращении просачивания воды через торф играет набухание гумусовых веществ; это подтверждается тем обстоятельством, что после временного прекращения подачи воды и затем пуска ее фильтрация вновь увеличивалась, возвращаясь к той, которая была при начале опыта.

6. Чем плотнее торф, тем долгие должен быть перерыв подачи воды, чтобы вызвать заметное восстановление фильтрации. Явление это можно условно назвать законом затухания и восстановления фильтрации через торфяной грунт.

Установление явления затухания и восстановления фильтрации через торфяной грунт имеет весьма важное практическое значение и объясняет, почему действие осушительных канав в торфяном грунте возрастает с течением времени. Прорезанный канавой, насыщенный водой торфяной грунт по мере отдачи воды и просыхания увеличивает свою водопроницаемость, и к следующему после осушения году отдача весенней воды должна идти уже быстрее, чем в первый год после осушения.

Из приведенных положений ясно, что отдельные определения скорости движения воды в торфяных залежах дают случайные величины скоростей, меняющиеся в зависимости от продолжительности насыщения торфа водой, от напора, от разложения торфа и от включений в нем.

Коэффициент фильтрации

Для вычисления скорости движения воды в грунтах французский гидравлик Дарси дал в 1856 г. простую формулу:

$$v = k \cdot \frac{h}{l}, \quad (1)$$

где l — протяжение пути просачивания воды по грунту в метрах; h — разность между горизонтами воды на рассматриваемом протяжении в метрах.

Следовательно, $\frac{h}{l} = I$ есть гидравлический уклон поверхности грунтовой воды на рассматриваемом протяжении. Это выражение ясно и просто для случаев движения воды по песку в трубах и в сосудах, но возбуждает значительные сомнения в своей применимости при движении воды в торфе и в глине. Однако за неимением других конкретных предложений формула Дарси применяется и к этим грунтам. Если известен для данного грунта коэффициент фильтрации k , то считается возможным вычислять по формуле Дарси скорости движения воды в грунте при разных величинах уклона I . Поверхность же движущейся грунтовой воды к реке или каналу имеет различный уклон, увеличивающийся при приближении к каналу (рис. 12), в связи с чем и скорость движения грунтовой воды различна на своем пути к каналу, соответствуя уклону именно в данном поперечном сечении потока. Поэтому в формулу (1) взамен постоянных величин h и l , дающих средний уклон I для всего рассматриваемого пути движения грунтовой воды, вставляется отношение $\frac{dh}{dl}$ или в общем виде $\frac{dy}{dx}$, выражающее уклон в любой точке рассматриваемого пути движения грунтовой воды. Выражение $\frac{dy}{dx}$ есть, как известно, тангенс угла, образуемого касательной к данной точке кривой с горизонтальной осью координат.

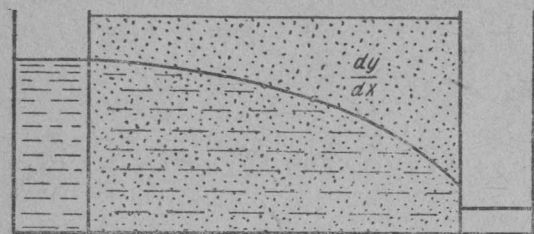


Рис. 12.

Зная для рассматриваемого грунта величину k , называемую коэффициентом фильтрации, и уклон I поверхности грунтовой воды на отдельных коротких отрезках пути, можно вычислить скорость движения грунтовой воды по этим отрезкам. Но, кроме того, величина коэффициента фильтрации k характеризует вообще водопроницаемость грунта. Определив эту величину для торфа и сравнив ее с величиной для других грунтов, получаем численное сопоставление грунтов по водопроницаемости.

Определяя лабораторным опытом по схеме рис. 13 расход Q воды через грунт, измеряя путь l , напор h и площадь поперечного сечения ω монолита, вычисляют скорость движения воды без учета пористости грунта:

$$v_1 = \frac{Q}{\omega};$$

скорость с учетом порозности:

$$v = \frac{Q}{\omega \cdot \varphi};$$

коэффициент фильтрации из формулы (1):

$$K = \frac{v \cdot l}{h}. \quad (2)$$

Величина коэффициента фильтрации получается различная в зависимости от единиц измерения скорости грунтовой воды и времени. Принято скорость движения грунтовой воды выражать в см/сек. и получать K , соответствующее скорости см/сек. Из опытов получены следующие величины коэффициента фильтрации:

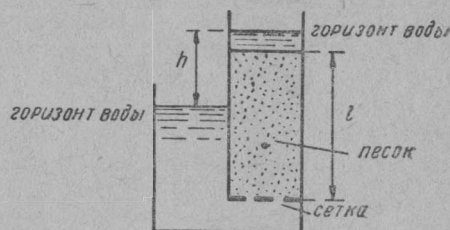


Рис. 13.

Для осоково-гипнового монолита с Замошского опорного пункта, зольностью 6,17%, степенью разложения 69%:

в начале опыта 0,0014 см/сек.
к концу четвертого месяца 0,000001 "

Для осоково-гипнового монолита с Замошского опорного пункта, зольностью 3,72—4,62%, степенью разложения 24—69%:

за первые 8 часов просачивания 0,0032 см/сек.
через два месяца 0,0001 "

Для сфагнового монолита с Оршинского болота, зольностью 1,51—5,31%, малой степенью разложения:

в начале опыта 0,0013 см/сек.
в конце опыта 0,000029 "

Для пушице-сфагнового монолита с Оршинского болота, зольностью 1,41—2,75%, степенью разложения 25—40%:

в начале опыта 0,0010 см/сек.
в конце опыта через год 0,000085 "

Как видно по коэффициенту фильтрации, опыт показал, что скорость фильтрации в одном и том же торфе сильно меняется, в сотни раз, в зависимости от состояния торфа; после временного просыхания фильтрация идет при коэффициенте в тысячных долях, после длительного насыщения монолита водой фильтрация идет при коэффициенте в стотысячных долях.

Коэффициенты фильтрации для торфяных грунтов приводятся еще в статье Людеке;¹ по его опытам коэффициент фильтрации определялся по величине от 0,000015 см/сек. до нуля. Им же указывается, что по опытам Вольни коэффициент фильтрации вычисляется равным 0,00001. В обоих случаях также получены стотысячные доли.

Г. Д. Эркин указывает для торфа (переходный тип) Минской болотной опытной станции² $K = 0,00032$ см/сек.

А. Ф. Лебедев³ указывает коэффициент фильтрации для хорошо разложившихся торфов по Беломорско-Балтийскому каналу $K = 0,00005—0,000065$.

В проекте мелиоративных норм НКЗ СССР 1934 г. А. Д. Брудастовым предложены следующие величины коэффициентов фильтрации для торфа:

торф осоковый, мало разложившийся 0,002—0,006 см/сек.
" осоковый, средне разложившийся 0,0002—0,0008 "
" сфагновый мало разложившийся 0,002—0,0008 "
" сфагновый, разложившийся (старый) 0,0001—0,0002 "

Для сравнения приводим коэффициент фильтрации минеральных грунтов:

В гидравлическом справочнике Н. Н. Павловского указаны следующие значения коэффициента фильтрации:

песчаный грунт с некоторой примесью глины 0,006—0,004 см/сек.
песчано-глинистый грунт 0,003—0,004 "
проницаемый глинистый грунт 0,001 "

Терцаги⁴ дает для мелкого песка:

(60% частиц мельче 0,333 мм, действ. диам. 0,152 мм) 0,0172 см/сек.
для грубого песка (действ. диам. 0,40 мм) 0,12 "
для отложений на речном дне (диаметром 0,147 мм) 0,016 "

¹ Lüdecke. Ueber die Wasserbewegung im Boden. Журнал „Der Kulturtechniker“, 1913.

² Торфяное дело № 2, 1934.

³ Записки Гидрологического ин-та т. X, 1933.

⁴ Terzaghi. Erdbaumechanik, 1915.

Названия по данным наблюдений в фильтрах Лондона, Парижа и Берлина¹ дает:

	% пустошь	Кэф. филт. см/сек.
грубый песок (coarse sand)	38	0,079
тонкий песок (fine sand)	35	0,0144
песчаная почва (sandy soil)	30	0,0077
песчаная глина (sandy clay)	25	0,00357
глина (clay)	20	0,00102

В книге Hydrologie (1913) Prinz приводит следующие величины коэффициента фильтрации:

дюнный песок в Голландии	0,002 см/сек.
песок со следами глины	0,0008 "
речной песок 0,1—0,3 мм	0,0025 "
речной песок 0,1—0,8 мм	0,0088 "

Для вычисления коэффициента фильтрации в минеральных грунтах в зависимости от диаметра зерен и температуры Hazen и Schlichter предложили формулы, в которых температура оказывается существенным фактором повышения фильтрации.

Полевые исследования коэффициента фильтрации

В отличие от лабораторных исследований фильтрации воды через вырезанные из торфяной залежи монолиты Болотный отдел Государственного гидрологического института производил в 1933 и 1934 гг. наблюдения над просачиванием воды через торфяной грунт в самом болоте по способу откачки воды из скважин, аналогично тому, как указывается для буровых колодцев в курсах водоснабжения. На избранных пунктах болота выкапывалась лопатой яма-колодец глубиной 0,50—0,60 м, диаметром в 12 см; по четырем радиусам во взаимноперпендикулярных направлениях высверливались смотровые скважины в расстояниях от колодца: 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2; 3; 5 и 10 м, по четыре скважины каждого расстояния соответственно четырем радиусам (рис. 14). По радиусам были проложены пластины для отмера от них расстояния до уровня грунтовой воды в скважинах.

Процесс работы состоял в следующем:

1. На следующий день после устройства колодца и скважин, когда была уверенность, что горизонт воды во всей системе установился на одной высоте, производился отлив воды из колодца до понижения уровня воды в нем примерно на 50 см, с точным замером понижения и с измерением объема отлитой воды.

2. Через 15 минут производился замер поднявшегося в колодце горизонта воды, и вторичный отлив воды с измерением объема отлитой воды и замером уровня после отливки в колодце и в скважинах.

3. Операция замера поднявшегося уровня отлива воды и замера уровня после отлива в колодце и в скважинах производилась с фиксацией времени в течение многих часов; самый продолжительный опыт велся в течение 84 часов.

В результате этих операций получились записи:

1) объема отлитой воды из колодца за каждый интервал времени и за все время операции;

¹ Из книги Висклеу. Irrigation Pocket Book. 1928.

2) уровней грунтовой воды во всех скважинах по четырем радиусам от колодца в каждый интервал и к концу операции.

Этих данных достаточно для вычисления коэффициента фильтрации по имеющимся формулам (вопрос о недостатках этих формул пока не затрагивается).

Обычное определение коэффициента фильтрации водоносных грунтов при расчете водоснабжения из буровых колодцев производится по приводимой в курсах водоснабжения и гидрогеологии формуле:

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{R}{r}}{\pi (H^2 - h^2)}, \quad (3)$$

где Q — расход воды из колодца в м³/сек., R — радиус влияния колодца на уровень грунтовой воды в метрах, r — радиус самого колодца в метрах, H — расстояние уровня грунтовой воды в колодце от дна его до откачки, h — глубина воды в колодце после откачки, k — коэффициент фильтрации в м/сек.

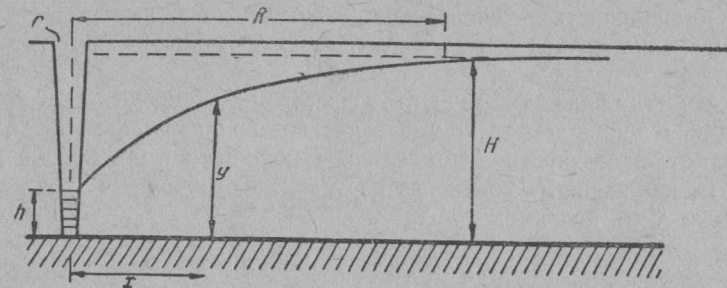


Рис. 15.

При выводе этой формулы принимаются два условия: 1) дно колодца находится на водонепроницаемой породе; 2) приток грунтовой воды происходит из дальнего расстояния, из-за предела радиуса влияния колодца, а не из грунта вокруг колодца. Это видно из следующего (рис. 15) обычно приводимого вывода. Скорость фильтрации воды через грунт по уравнению Дарси:

$$v = k \frac{dy}{dx}.$$

Расход воды через цилиндрическое сечение водоносного потока радиуса x , высоты y

$$q = 2\pi x \cdot y \cdot k \frac{dy}{dx}, \quad (4)$$

где $2\pi x$ — длина окружности в метрах, y — высота цилиндра в метрах.

Отсюда после разделения переменных:

$$y \cdot dy = \frac{q \cdot dx}{2\pi x \cdot R}. \quad (5)$$

Переменными здесь являются x и функция от него y , расход же q считается постоянной величиной, т. е. остается одинаковым на всех расстояниях x от центра колодца; это возможно лишь при условии, что вода притекает к колодцу издалека.

При таком условии интегрирование обеих частей уравнения в пределах для x от r до R и соответственно для y от h до H дает:

$$\int_h^H y \cdot dy = \int_r^R \frac{Q}{2\pi k} \cdot \frac{dx}{x};$$

$$\frac{H^2 - h^2}{2} = \frac{Q}{2\pi k} \cdot (\ln R - \ln r);$$

$$\frac{H^2 - h^2}{2} = \frac{Q}{2\pi k} \cdot \ln \frac{R}{r};$$

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{R}{r}}{\pi(H^2 - h^2)}. \quad (6)$$

Положенное в основу решения вышеприведенного интегрального уравнения (5) допущение, что Q постоянно,—неверно, особенно, конечно, для проводившихся наблюдений на торфяном болоте. Выкачиваемая из колодца вода пополнялась за счет запаса ее в торфе в сфере влияния колодца на понижения уровня грунтовой воды, а не притекала издалека, поэтому количество воды q , проходящее через вертикальное цилиндрическое сечение водоносного потока, уменьшается с удалением от колодца и равно нулю при $x=R$, т. е. на границе распространения влияния колодца.

Выведем формулу для коэффициента фильтрации при условии q переменного. Просачивающийся в колодец из грунта запас воды пополняется водою, просачивающейся сверху от поверхности зоны влияния колодца вниз в количестве p м³/сек. с каждого 1 м² площади. Расход через вертикальное цилиндрическое сечение в расстоянии радиуса x от колодца:

$$q = 2\pi xy \cdot k \frac{dy}{dx}, \quad (7)$$

но q здесь уменьшается с возрастанием x и выражается через p следующим образом.

Горизонтальная поверхность, с которой происходит поступление воды в сфере переменного радиуса x , выражается:

$$\pi x^2. \quad (8)$$

Объем воды, просачивающейся с этой площади и идущей на питание колодца:

$$p \cdot \pi x^2 \quad (9)$$

Площадь поверхности, с которой происходит поступление воды в сфере радиуса влияния R : πR^2 . Объем воды, просачивающейся вертикально на этой площади и идущей на питание колодца:

$$p \cdot \pi R^2 = Q. \quad (10)$$

Объем воды, проходящей через вертикальное цилиндрическое сечение радиуса x :

$$p \cdot \pi R^2 - p \cdot \pi x^2. \quad (11)$$

Объем воды (11) есть тот же объем (7), и потому:

$$2\pi xy \cdot k \frac{dy}{dx} = \pi R^2 \cdot p - \pi x^2 p. \quad (12)$$

В этом уравнении величины q расхода через цилиндрическое сечение нет, а имеется постоянное p —вертикальный приток воды с 1 м² поверхности, что в некоторых случаях соответствует действительности.

Из уравнения (12) после разделения переменных получается:

$$y \cdot dy = \frac{R^2 p}{2k} \cdot \frac{dx}{x} - \frac{p \cdot x \cdot dx}{2k}.$$

Интеграл для x в пределах от r до R и соответственно для y в пределах от h до H дает:

$$\frac{H^2 - h^2}{2} = \frac{R^2 p}{2k} (\ln R - \ln r) - \frac{p}{2k} \left(\frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right);$$

$$H^2 - h^2 = \frac{R^2 p}{k} \ln \frac{R}{r} - \frac{p}{2k} R^2 + \frac{p}{2k} \cdot r^2. \quad (13)$$

Умножая все члены уравнения (13) на π и имея из (10), что $\pi R^2 p = Q$, получаем:

$$\pi(H^2 - h^2) = \frac{Q}{k} \ln \frac{R}{r} - \frac{Q}{2k} + \frac{Qr^2}{2kR^2},$$

откуда

$$k = \frac{Q \left(2 \ln \frac{R}{r} - 1 + \frac{r^2}{R^2} \right)}{2\pi(H^2 - h^2)}. \quad (14)$$

Сравнивая уравнения (6) и (14) и учитывая, что $\frac{r^2}{R^2}$ по малости величины можно из (14) выбросить, можно видеть близкое сходство между (6) и (14):

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{R}{r}}{\pi(H^2 - h^2)} \quad (6)$$

и

$$k = \frac{Q \cdot \ln \frac{R}{r}}{\pi(H^2 - h^2)} - \frac{Q}{2\pi(H^2 - h^2)}. \quad (14)$$

Уравнение (14) больше соответствует действительным условиям поступления воды в колодец, но все же и оно не вполне соответствует действительному процессу стока воды из торфяного грунта в колодец. Однако далее углубляться в математические выкладки здесь нет необходимости.

Произведенные исследования фильтрации на болотах. В течение лета 1933 и 1934 гг. Гидрологическим институтом наблюдения производились на Токсовском сфагновом болоте у озера Хэпо-Ярви, в 24 км на северо-восток от Ленинграда, и на лесном сфагновом болоте в Сиверском леспромхозе в 70 км к югу от Ленинграда.

Токсовское болото, за озером Хэпо-Ярви, в местах определения фильтрации имело строение: на глубине до 15 см преимущественно *Sphagnum parvifolium*; в меньшем количестве *Sphagnum balticum*, *Symbifolium*, степень разложения 5—10%; на глубине 30 см—переходный тип: *Sphagnum Symbifolium*, *cuspidatum*, *medium*, *parvifolium*, шейхцерия, разложение 35%; на глубине 45—60 см—шейхцериевый торф, разложение 40%. Зольность средняя в слое 0—60 см равна 2,8%. Глубина торфа 2,5—3,0 м. По болоту—редкая береза.

Произведенные в 1933 и 1934 гг. шесть серий откачек по четырем системам колодцев и скважин и вычисления по уравнению (14) дали следующие величины коэффициента фильтрации в см/сек. (табл. 35, стр. 70).

С удлинением времени откачки коэффициент фильтрации снижался, что вызывается, вероятно, меньшею водопроницаемостью ниже лежащих горизонтов торфа.

В 1934 г. наблюдения над фильтрацией велись также в 18-м квартале Онцевского лесоучастка, Сиверского леспромхоза, в 70 км к югу от Ленинграда. Методика наблюдений была та же, что и на Токсовском болоте; систем было четыре. Квартал покрыт редким сосняком по сфагнуму. Торф образован сфагнумами, пушицей, осокой; разложение 60%. Система первая в толще торфа 30 см, подстилаемого голубой глиной; система вторая в толще торфа 35 см на суглинке; система третья

Таблица 35

Системы и время начала наблюдений	Продолжительность наблюдений				
	2 часа	4 часа	8 час.	16 час.	84 часа
1933 г.					
Первая—13 июня . . .	0,00083	—	0,00078	—	—
Вторая—10 июля . . .	—	0,00022	0,00021	0,00020	—
„ —1 августа . . .	—	0,00023	—	0,00020	—
Третья—30 июля . . .	0,00091	0,00085	0,00083	—	—
„ —1 августа . . .	—	0,00066	—	0,00062	—
1934 г.					
Четвертая	—	—	0,00040	—	0,00018

в толще торфа 30 см на суглинке, ниже глина; система четвертая в толще торфа 30 см на голубой глине.

Коэффициенты фильтрации оказались следующие (табл. 36).

Таблица 36

Системы	Дата	Уровень грунта воды на болоте см	Продолжительность наблюдений				
			2 часа	4 часа	6 часов	30—36 ч.	44—50 ч.
Первая . .	18/VI	21	0,00118	0,0012	0,00082	—	—
„	23/VI	31	—	0,00018	0,00087	—	—
„	13/VII	13	0,0016	0,00124	0,00124	—	—
Вторая . .	3/VII	34	0,00083	0,00067	0,00051	—	—
„	14/VII	16	0,0013	—	0,0016	—	—
„	8—9/VII 10/VIII	16	0,0019	0,00104	0,00076	0,00060	0,00055
Третья . .	13/VIII	18	0,0024	0,0024	—	—	—
Четвертая .	17/VIII	13	0,0026	0,0022	—	—	—
„	18/VIII	13	0,0028	0,0029	0,0027	—	—
„	8, 9 и 10/VIII	16	0,0035	—	0,0027	0,0019	0,0018

Вычисленные по Токсовскому и Онцевскому болотам коэффициенты фильтрации показывают:

1. Уменьшение коэффициента по мере увеличения продолжительности откачки, следовательно, по мере понижения уровня воды (вокруг колодца).

2. Большие величины коэффициента после дождей, когда уровень грунтовой воды на болоте был в расстоянии 13 см от поверхности.

3. Необъяснимые различия в коэффициентах, достигающие тройной величины между системами, расположенным рядом. Однако это различие не выходит за пределы, указываемые другими авторами. Объясняется это, может быть, тем, что некоторые системы попадали на более проницаемые прослойки или корневые пустоты. Приведенные результаты наблюдений способом откачки из смотровых колодцев могут быть сведены к двум грубым цифрам: верхние слои слабо разложившегося сфагнового торфа имеют коэффициент фильтрации 0,002 см/сек.; слои сфагнового торфа на глубине 30—50 см, средне разложившиеся—0,0008 см/сек.

Определение коэффициента фильтрации наблюдением стока воды по канаве. Имея три параллельные осушительные канавы с дном, доведенным до водонепроницаемого грунта, наблюдая расход воды по средней канаве и положение уровня грунтовой воды по обе стороны от этой канавы, возможно вычислить величину коэффициента фильтрации торфяной залежи (рис. 16).

Сначала найдем уравнение линии грунтовой воды. Обозначим приток грунтовой воды возле самого канала на протяжении одного метра по длине канала в 1 сек. через Q м³. Это Q есть сумма стоков p с каждого квадратного метра поверхности. Обозначим сток грунтовой воды с каждого квадратного метра поверхности водосбора канавы через p м³/сек. Рассматриваем далее процесс стока грунтовой воды в канаву на полосе шириной 1 м по длине канавы.

При расстоянии между канавами в $2l$ сток в канаву с каждой стороны ее на длине 1 м равен pl ; через сечение грунта в расстоянии 1 м от канавы проходит воды

$$p(l-1) \text{ м}^3/\text{сек.}$$

В расстоянии x метров:

$$q = p(l-x); \quad (15)$$

скорость движения грунтовой воды по Дарси:

$$v = k \frac{dy}{dx}.$$

Через сечение в расстоянии x метров от канавы, при высоте потока грунтовых вод y метров (рис. 16), расход воды выразился:

$$y \cdot 1 \cdot k \frac{dy}{dx}. \quad (16)$$

Уравнения (15) и (16) выражают один и тот же расход воды через сечение в расстоянии x метров от канавы, поэтому:

$$q = p(l-x) = y \cdot k \frac{dy}{dx}; \quad (17)$$

после разделения переменных:

$$p(l-x) \cdot dx = k \cdot y \cdot dy.$$

Интегрируя для x в пределах от 0 до l и соответственно для y в пределах от h до H , получаем:

$$pl^2 - \frac{pl^2}{2} = k \frac{H^2 - h^2}{2},$$

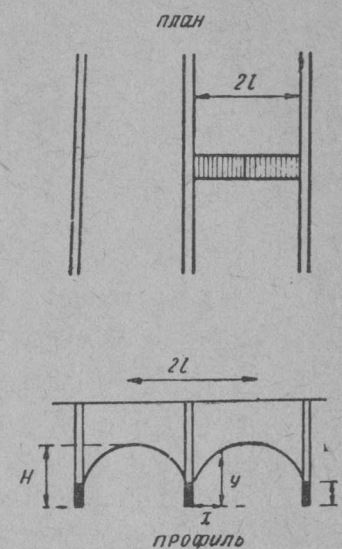


Рис. 16.

откуда

$$k = \frac{pl^2}{H^2 - h^2} \quad (18)$$

Если наблюдать расход воды по каналу, то, зная l , H , h и длину канала L , можно вычислить p — сток $\text{м}^3/\text{сек.}$ с 1 м^2 , а после этого и k .

Например,

L — длина опытной канавы, равная 100 м; $2l$ — расстояние между канавами, равное 40 м; Q — наблюдаемый сток по опытной канаве $0,0002 \text{ м}^3/\text{сек.}$; h — вертикальное расстояние выхода грунтовой воды в канаву от дна канавы, равное 0,1 м; H — толщина грунтовой воды на расстоянии l от канавы, равная 0,8 м.

Тогда p — сток с 1 м^2 — равен

$$\frac{0,0002}{40 \times 100} = 0,00000005 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Подставляя в уравнение (18), получаем величину k :

$$k = \frac{0,00000005 \cdot 400}{0,64 - 0,01} = 0,000032 \text{ м/сек.} = 0,0032 \text{ см/сек.}$$

Цифровые величины для примера взяты соответствующие действительности (сток $0,2 \text{ л}$ с 1 га), и коэффициент фильтрации вычислился правдоподобный. На самом деле постановка наблюдений по изложенной схеме не осуществлялась.

Скорости движения грунтовой воды в торфяной залежи

Средние скорости движения потока грунтовой воды в торфяной залежи вычисляются по полученным коэффициентам фильтрации очень незначительными. Если, например, зеркало грунтовой воды в торфяном болоте имеет уклон 0,01 при коэффициенте фильтрации, например, $0,001 \text{ см/сек.}$, то скорости движения потока грунтовой воды, без учета порозности, вычисляются:

$$v = 0,001 \cdot 0,01 = 0,00001 \text{ см/сек.},$$

$$v = 0,00001 \cdot 86400 = 0,864 \text{ см за сутки},$$

а с учетом порозности в 70%

$$v = 0,864 : 0,70 = 1,23 \text{ см за сутки.}$$

Вычисляется, таким образом, практическое отсутствие движения грунтовой воды непосредственно по сфагновой толще в горизонтальном направлении, если болото не прорезано руслами рек или канавами.

При наличии под торфом песчаного грунта коэффициент фильтрации которого, например, 0,006, вода из торфа может проникать в этот горизонт и двигаться затем по песку с большей, чем по торфу, скоростью.

Таковы вычисленные величины скоростей для сплошного потока грунтовой воды в залежи. Но движение воды в залежи может идти послойно, и, в частности, верхний слой слабо разложившегося мха пропускает воду значительно легче. Кроме этого, имеется еще ряд обстоятельств, облегчающих движение воды в торфяной залежи.

При откачках воды из колодца сфера влияния колодцев на уровень грунтовой воды в смотровых скважинах распространялась по радиусам значительно быстрее средней скорости всего потока грунтовой воды. Здесь происходило явление, аналогичное стоянию воды в трубе: самая малая продвижка воды в одном конце вызывает почти одновременную продвижку в другом конце. При ничтожной скорости продвижения воды в торфяной залежи все же небольшая передвижка возле колодца отражалась сравнительно скоро в расстоянии нескольких метров.

Радиус действия колодца на уровень грунтовой воды на Токсовском болоте распространялся:

	За 6 час.	За 12 час.	За 24 часа
В первой установке . . .	2,6 м	—	—
Во второй " . . .	1,7—2,0 м	2,3—2,5 м	3,1 м
В третьей " . . .	4,0 м	7,4 м	10 м

Радиус действия на уровень грунтовой воды в Онцевских системах распространялся на следующие расстояния:

Системы	За 6 час.	За 12 час.	За 24 часа	За 48 час.
1-я	1,3—2 м	—	—	—
2-я	1,1—3,0 м	2,1—2,4 м	2,0—2,7 м	3,4 м
4-я	2,0—2,3 "	2,7 м	2,8 м	3,0 "

Приемы непосредственного наблюдения движения грунтовой воды с помощью введения раствора поваренной соли или краски в торфяной грунт едва ли применимы ввиду поглощения торфом соли и краски. Но в самых верхних слоях торфяника по очесу определение скорости движения воды помощью растворов, повидимому, возможно.

Krüger в Германии наблюдал в сфагновом болоте за 6 суток продвижение раствора поваренной соли на 18 м. На Кедингерском болоте при Штаде в Германии, по сообщению Такке, при уклоне поверхности глубокого сфагнового болота 0,038, грунтовая вода за сутки прошла 3,27 м.

Жильное движение воды в торфяной залежи. На основании изучения строения Полистовского болотного массива (р. Полисть, бассейн оз. Ильмень) площадью около 93 000 га, проведенного Научно-исследовательским торфяным институтом (Инсторф), Богдановская-Гиэнеф приходит, например, к заключению,¹ что на Полистовском болотном массиве движение воды фильтрацией имеет вообще второстепенное значение и что в основном избыток воды стекает здесь в реку по особой внутризалежной проводящей системе.

В некоторых своих частях торфяная залежь здесь пронизана водными жилами, расширяющимися иногда в водяные мешки. Верным признаком наличия внутризалежной сети является обилие озерков, расположенных цепью и сообщающихся между собою внутризалежными протоками. Эти протоки образуются размыванием напорною водою прослоек разложившегося торфа; находятся они в Полистовском массиве на глубине 2—4,5 м.

Кроме водяных жил, в болотном массиве имеются внутризалежные русла, являющиеся погребенными руслами рек давних лет; они являются часто подземными протоками между крупными озерами на болоте.

Отмечено еще явление чередования поверхностного и внутризалежного стока; в частях торфяника с хорошо выраженным уклоном формируются новые поверхностные русла; под ними же, на некоторой глубине, в Полистовском болотном массиве можно находить погребенные русла. Помощью окнищ старые и новые русла сообщаются между собою, и вода может или уходить вниз или подниматься по окнищам кверху, протекая по путям меньшего сопротивления.

Наконец, Богдановская-Гиэнеф указывает еще на наличие в Полистовском торфянике „глухих рек, где течение воды проходит на глубине 75—100 см под зыбким моховым покровом“.

На содержание жильной воды в торфяниках впервые указал А. Д. Брудастов;² на основе наблюдений над уровнем грунтовых вод им было высказано предположение, что грунтовые воды в болотах напорного питания распределяются не в виде равномерного по всей толще торфа просачивания, а в виде отдельных жил. Для

¹ Из неопубликованных материалов.

² Опытнo-мелиоративный вестник, т. II, вып. I, 1929.

определения положения подземных потоков А. Д. Брудастовым предложен специальный пьезометр-трубка с возможностью разрежения воздуха в нем.¹

Трубка погружается в грунт—торф, после чего производится в ней разрежение воздуха. При попадании конца трубки в поток грунтовых вод вода быстро поднимается по трубке кверху; при отсутствии потока, несмотря на разрежение воздуха, вода по трубке не поднимается.

Образование в торфе и в подстилающем его песке подземных каналов для воды можно наблюдать по осушительным канавам. Например, в Сиверском леспромхозе в некоторые канавы вода поступает по таким подземным ходам, которые можно проследить на десяток метров в сторону от канавы.

Заключение

Вкратце материалы по движению воды в торфяной залежи сводятся к следующим положениям:

1. Водопроницаемость горизонтальных слоев торфяной залежи весьма различна и зависит от происхождения торфа, степени разложения его и зольности. Чем выше степень разложения и зольность торфа, тем труднее проницаем торф для воды.

2. Поэтому при наличии в торфяной залежи прослоек плотного сильно разложившегося торфа эти прослойки являются сравнительно водоупорными грунтами и образуют над собою горизонты движущейся грунтовой воды, ясно выклинивающейся в откосах канав.

3. Скорость движения воды в самых верхних слоях слабо разложившегося сфагнового торфа может приниматься для ориентировочных расчетов равной максимум 2—3,0 м за сутки.

4. Скорость движения потока грунтовой воды в средних и нижних слоях разложившейся торфяной залежи равна около 1 см за сутки, т. е. практически равна нулю.

5. Коэффициент фильтрации сфагно-пушицевого торфа соответственно степени разложения изменяется в пределах от нуля до 0,003 см/сек. Слабо разложившийся сфагновый торф в условиях проведенного исследования имеет коэффициент фильтрации около 0,002, средне разложившийся торф—0,0008 см/сек.

6. Так как в этих же, примерно, пределах от нуля до 0,002 см/сек имеет коэффициент фильтрации и глинистый грунт, то торф в своей сплошной массе должен быть отнесен к грунтам трудно проницаемым.

7. Но указываемое несколькими авторами наличие в торфяных болотах водоносных жил и даже внутризалежных протоков существенно может менять условия передвижения грунтовой воды к рекам и канавам в отношении ускорения стока; вопрос о распространенности этих жил остается нерешенным.

8. Кроме того, грунтовая вода торфяного болота кратчайшим вертикальным направлением поступает, повидимому, в подстилающий песчаный горизонт и движется по нему к рекам и каналам со значительно меньшим сопротивлением.

9. Указанные два обстоятельства—движение воды по водоносным жилам и поступление воды в подстилающий песчаный грунт, при наличии того или другого—создают возможность непосредственного снижения грунтовой воды на болоте помощью водоотводных канав.

¹ Описание дано в книге проф. Брудастова, Осушение минеральных и болотных земель, 1934.

История вопроса

Сток с болота является функцией атмосферных осадков, притока воды со стороны и испарения с поверхности; именно стоком определяется в основном гидрологическая роль болот.

Вопросу о стоке с болот, конкретизировавшемуся в дискуссию о том, способствуют ли болота летнему питанию рек или, наоборот, содействуют обмелению их, уделялось большое внимание в дореволюционной литературе, так как с этим связывалось тогда развитие или свертывание работ по осушению болот.

В 1873 г. начаты были работы Западной экспедиции по осушению болот Белорусского полесья, продолжавшиеся интенсивно до 1896 г. включительно, причем водомерными наблюдениями за тот же приблизительно период (1876—1892 гг.) было обнаружено, что уровень воды в Днепре почти непрерывно понижался. Ввиду этого и учитывая еще то обстоятельство, что в народных массах и в общей литературе господствовало мнение, что сравнительно еще недавно все реки Русской равнины были многоводнее и что теперь уже нет судоходства там, где оно было когда-то, естественно возникло беспокойство о дальнейшей судьбе рек как путей водного транспорта.

1895 год в гидрологии царской России отмечается образованием особой экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России. Эта экспедиция работала достаточно энергично и выпустила большое число трудов, содержащих результаты исследований истоков рр. Волги, Днепра, Оки, Дона, Западной Двины, Сызрана. Гидрогеологическая часть этой экспедиции особенно тщательно рассматривала условия водного питания истоков этих рек, и так как Днепр и Волга берут начало из торфяных болот, то вопрос о роли болот в регулярном питании рек оказался одним из центральных в работах экспедиции. Руководитель гидрогеологической части экспедиции С. Н. Никитин в печатных изданиях экспедиции¹ настойчиво проводил мысль о регулирующей роли торфяных болот в питании рек, о значении болот как резервуаров, равномерно и постоянно отдающих свою воду реке. Базировалось это суждение на двух принятых им положениях: 1) торф способен удерживать в себе значительные объемы воды; 2) торф обладает достаточной водопроницаемостью.

С. Н. Никитин следующим образом определяет гидрологическую роль болот в бассейне Волги:¹ „Значение болот, моховых, лесных, травяных, равно как болот смешанных типов как важнейших питателей всей речной системы верховьев Волги в наиболее важное меженное время было, как мы надеемся, достаточно разработано во всех отделах настоящей книги. Не может подлежать после всего сказанного сомнению, что и здесь, как в верховьях Днепра, дренирование и осушение всех типов этих болот (особенно лесных) в сколько-нибудь значительных размерах было бы

¹ Бассейн Волги. Исследования гидрогеологического отдела 1894—1898 гг. Отчет начальника отдела С. Н. Никитина. 1899. Его же. Бассейн Днепра. 1896.

гибельно для водоносности всей системы, по крайней мере без надлежащей ответственной задержки весенних, а может быть и осенних вод дорогими стоящими гидротехническими сооружениями, которые едва ли были бы в состоянии окупить стоимость осушенных болот.

Относительно верховьев Днепра суждения С. Н. Никитина еще более категоричны: „Не подлежит сомнению, что настойчивое осушение болот в сколько-нибудь значительных размерах здесь, при водонепроницаемости преобладающей подпочвы, было бы губительно для водоносности Днепровской системы и ничем не могло бы быть заменено. Мы получили бы страну, в которой почти все снеговые и дождевые воды быстро и непроизводительно скатывались бы в реки, увеличивая их временные паводки, обезжизняя страну и доводя воды Днепра до ничтожного минимума“.

Исключение С. Н. Никитин делает для моховых болот на возвышенных равнинах и пологих склонах: „...которые, повидимому, не содержат в себе достаточного количества избытков свободной воды... так что никаких источников, ни наружных, ни подземных водоносных жил такие болота не дают. Дренажное осушение этих болот, после детального в каждом случае изучения действительности подобного факта, с выводом канавами содержащейся в них воды, или полное их осушение, с обращением в лесную площадь, может считаться желательным, так как никакой общей обводнительной или вообще климатической роли болота здесь не имеют помимо восполнения водоносности речной системы“.

Так как сфагновые болота являются достаточно распространенными в бассейне Днепра и значительно преобладают в бассейне всех северных притоков Воли, а также всех рек бассейнов Невы и Белого моря, то приведенное „исключение“ благоприятного влияния осушения болот окажется для большей части болот правилом.

На положительную роль не затронутых человеком болот в питании рек совершенно определенно указывает инж. Н. И. Максимович в своем капитальном труде „Днепр“ (1901 г.): „Как ни важны осушительные работы в целях улучшения культуры земель, увеличения доходности угодий, оздоровления местности от болотных испарений, но в отношении равномерности питания р. Днепра водами из Полесья они приносят ущерб правильности годового режима реки; этот ущерб и в настоящее время замечается, хотя и в слабой степени, а в будущем может причинить вред еще больший“ (стр. 279). В заключительной части соответствующей главы (стр. 287) Максимович совершенно категорически пишет: „Поэтому охрана лесов, торфяных и лесных болот как главных резервуаров питания в бассейне Днепра, накапливающих и задерживающих снеговую и дождевую воду, должна быть первым государственным мероприятием, направленным к охране правильного, равномерного питания рек“. Гидрологический вред от неизбежного осушения болот в связи с ростом народонаселения Максимович считает необходимым компенсировать устройством для летнего питания рек запасных водохранилищ.

Против суждений о благотворном влиянии болот в естественном их состоянии на питание рек возражал и ныне возражает акад. Е. В. Оппоков.¹ Он писал в 1914 г.: „При таких условиях (медленность фильтрации) попадающая в болота с весны или от дождей вода, несомненно, гораздо легче и скорее будет испаряться в атмосферу, чем поступать в реки, в особенности при засухах; нельзя поэтому не согласиться с указаниями проф. Е. Рамана, что главная масса воды теряется болотами путем испарения... Подобно насыщенной губке, положенной на тарелке и выставленной на солнце и ветер, торфяные почвы легко высыхают при недостатке осадков и при ограниченном подземном притоке к ним влаги и не только не являются источниками питания рек, а напротив, сами нуждаются в нем и нередко даже они лишают реки известного меженного питания, перехватывая приток грунтовых вод, направленный к рекам“.

¹ Режим речного стока в бассейне Верхнего Днепра и в его составных частях. Ч. 2-я. 1914 г.

В значительном числе статей и в отдельных выпусках дореволюционного и после-революционного времени Е. В. Оппоков развивает свои суждения по следующим пунктам:

1. Снижение расходов воды в Днепре у Киева за период 1876—1892 гг. является результатом выпадения за этот период на водосборной площади Днепра в среднем в год 430 мм осадков вместо многолетних средних 553 мм; при меньших против среднего выпадения осадков снизился временно и расход воды по Днепру.

2. Период с 1880 до 1895 г. является по схеме Брюкнера колебаний климата периодом падения водоносности рек вообще по континенту Европы.

3. Отсутствие регулярности питания из торфяных болот можно видеть на многих случаях высыхания рек с болотным водосбором или случаях крайне ничтожного стока воды с них в засушливое время; в подтверждение этого обстоятельства приводятся наблюдаемые случаи пересыхания или почти пересыхания ряда рек Черниговщины и Белорусского Полесья, а также примеры из иностранной литературы.

4. Торф как порода обладает наибольшей влагоемкостью, значительной капиллярностью, большою испаряющею способностью и очень малою водопроницаемостью. Совокупность этих свойств неизбежно приводит к выводу, что торфяное болото расточает запасы воды, испаряя их в атмосферу, а не отводит постепенно на питание реки; прорытие же сети каналов, облегчая сток запасов воды из торфяной залежи, содействует поэтому летнему питанию реки.

5. Развитие речной системы в стороны боковыми каналами дает возможность попадать в реки таким болотным водам, которые при отдаленности болот от русла реки должны бы испаряться прежде, чем попасть в реку.

6. Центр тяжести в питании рек грунтовыми водами лежит вовсе не в торфяных почвах бассейнов, а в песчаных, много поглощающих, но мало испаряющих почвах, способных действительно отдавать обратно рекам много воды; эти почвы, а не торфяные, и являются резервуарами грунтовых вод в речных бассейнах.

Однако в то время (1890—1900 гг.) временный перевес получило мнение, что болота улучшают питание рек и что поэтому массовое осушение их нежелательно. Государственные осушительные работы временно были почти прекращены.

Через некоторое время, примерно в 1910 г., суждение о вредном или полезном для питания рек влиянии осушения болот потеряло остроту, и осушительные работы по настоящее время производятся без учета того, вредно или полезно осушение болот для равномерного питания рек.

Акад. Е. В. Оппоков в настоящее время пишет: „Торфяные болота не питают рек, как обычно думали раньше, а чрезвычайно интенсивно испаряют воду в атмосферу. Сама природа торфяных болот предназначила их к тому, чтобы расходовать местные избытки влаги с помощью специальной на то растительности, которая интенсивно транспортирует влагу в атмосферу“.

Немецкий болотовед Schreiber¹ в 1927 г. писал: „Уже в брошюре „Развитие культуры болот и торфодобычания в северной Германии“ в 1896 г. я показал, что болота не являются регуляторами водного стока. В сухое время со сфагнового болота стекает воды мало или вовсе не стекает, в мокрое же время стекает воды много. Ошибочное суждение, что болота в естественном состоянии влияют как ледники, высказано было впервые А. Гумбольдом, повторено в 1855 г. Гохштеттером и имеет след поныне во всех книгах“.

В течение многих годов, истекших со времени начала дискуссий по этому вопросу, мог бы накопиться решающий материал систематических наблюдений над стоком воды с торфяных и минеральных грунтов, и дискуссия должна бы считаться законченной. Однако в действительности этого нет, материал имеется, но немногочисленный и не дающий всестороннего решения.

Изучение процесса стока должно осуществляться в трех циклах:

¹ H. Schreiber. Moorkunde nach dem gegenwärtigen Stande des Wissens auf Grund 30-jähriger Erfahrung. 1927.

- 1) с элементарных однородных площадок величиною 1 га или менее;
- 2) с водосборных площадей, соответствующих по величине осушаемым в производственной практике болотам;
- 3) с значительных водосборов, в которые болота входят как составная часть комплекса на ряду с другими видами земель.

Производя по каждому циклу сопоставление стока с торфяных земель со стоком с минеральных грунтов, возможно будет с большим основанием судить о сравнительной с другими видами угодий гидрологической роли болот в их естественном и мелиорированном состоянии.

Сток с элементарных площадок

Единственной известной нам опытной постановкой стока с торфяных элементарных площадок являются наблюдения, проведенные в 1933 г. на торфяной Опытной станции Инсторфа близ железнодорожной станции Редькино, между Москвой и Калинин, на болоте Галицкий мсх. Материалы наблюдений были предоставлены нам научным руководством Торфяной станции в 1934 г. и самой станцией еще не опубликованы.

На верховом болоте со сфагнум меду и низкорослой сосной выделены были рядом две квадратные площадки величиной 1 га каждая; глубина торфа от 2,3 до 3 м. Каждая площадка окопана с четырех сторон канавами глубиною 0,5—0,6 м до горизонта хорошо разложившегося торфа; эти канавки являлись приемниками для стока и имели выход в магистраль.

Для ограждения от притока воды со стороны обе площадки в расстоянии 1,5 м от приемных канавок окопаны канавами метровой глубины; такая же канава прорыта и между площадками. Средний уклон 1-й площадки 0,002, обращенный на запад; средний уклон 2-й площадки 0,001, обращенный на северо-восток; горизонталы вследствие происшедшей осадки торфа идут причудливо, и приведенные уклоны вычислены с достаточной условностью.

Наблюдения над стоком с болотных площадок велись весной, летом и осенью в 7 час., 13 час. и 21 час.

По произведенным нами выборкам из записей сток характеризуется величинами приведенными в табл. 37.

Начало стока—18 марта. Дождемер был на самом участке. Средняя влажность торфа из проб, взятых по всей глубине в мае 1933 г., была на 1-й площадке—89,98%; на 2-й площадке—89,76%.

Рассмотрение табл. 37 представит наибольший интерес при сравнении со стоком с минеральных площадок, но предварительно следует отметить следующее:

1. Запас весенней воды совершенно иссяк в первой декаде июня вместе с выпавшими до этого времени дождями.

2. Летние дожди в размере 132,3 мм за 5 декад не дали никакого стока, т. е. целиком испарились и поглотились и лишь 40,3 мм осадков за 2-ю декаду августа вызвали незначительный сток. Это значит, что фактическое испарение с поверхности сфагнового торфяника за июнь, июль и начало августа равнялось 2,6 мм столба воды в сутки.

3. Совершенно неожиданно большими оказались модули максимального сентябрьского стока, достигшие по первому участку 1,4 л с 1 га, по второму участку—2,46 л с 1 га. Необходимо подчеркнуть, что это не только поверхностный, но и грунтовый сток, так как канавы имели глубину 0,5—0,6 м.

4. Весенние максимальные модули были 0,48 и 0,76 л с 1 га, сравнительно с минеральными грунтами незначительные.

5. Выпало за время 11 августа—31 октября атмосферных осадков 275,3 мм, что дает воды на 1 га 2753 м³; стекло с 1-й площадки 813,3 м³; со 2-й площадки 1100,4 м³.

Таблица 37

Месяцы и декады	Первый участок			Второй участок			Атмосферные осадки мм	Температура средняя суточная °С
	За декаду стекло м ³	Средний модуль с 1 га л	Макс. набл. модуль с 1 га л	За декаду стекло м ³	Средн. модуль с 1 га л	Макс набл. модуль с 1 га л		
Март	1	—	—	0	—	—	0	—
	2	7,09	0,006	0,039	5,01	0,004	0,039	—
	3	56,17	0,059	0,476	82,34	0,089	0,40	—
Апрель	1	220,4	0,255	0,399	291,84	0,326	0,53	—
	2	127,35	0,147	0,482	169,78	0,196	0,765	—
	3	132,67	0,154	0,287	145,58	0,169	0,324	—
Май	1	103,94	0,120	0,447	127,61	0,148	0,504	—
	2	86,23	0,100	0,203	119,15	0,138	0,268	—
	3	35,86	0,038	0,189	59,36	0,062	0,317	—
Июнь	1	187,9	0,218	0,839	274,62	0,318	1,294	—
	2	0,35	0	0,002	0,52	0,001	0,004	—
	3	0	0	0	0	0	0	16,8
Июль	1	0	0	0	0	0	0	33,0
	2	0	0	0	0	0	0	18,1
	3	0	0	0	0	0	0	10,5
Август	1	0	0	0	0	0	0	19,0
	2	1,04	0,001	0,033	2,59	0,003	0,069	34,9
	3	24,02	0,025	0,220	81,13	0,086	0,455	40,3
Сентябрь	1	256,6	0,297	1,355	380,68	0,441	1,629	40,0
	2	273,3	0,315	1,405	408,50	0,473	2,462	80,1
	3	33,44	0,039	0,141	42,94	0,050	0,171	49,3
Октябрь	1	22,98	0,027	0,064	44,14	0,051	0,114	1,8
	2	16,07	0,019	0,041	35,08	0,041	0,069	19,7
	3	56,49	0,060	0,335	105,32	0,111	0,537	11,3
Ноябрь	1	122,1	0,141	0,235	167,62	0,194	0,355	32,8
	2	6,83	0,008	0,020	9,07	0,010	0,034	—
	3	0	0	0	0	0	0	—

Следовательно, коэффициент стока дождевых вод за август—октябрь оказался 0,30 и 0,40, т. е. чрезвычайно большой.

6. Эту величину коэффициента стока можно сопоставить с испарением. Как указано в п. 2, суточное фактическое испарение за июнь и июль составило 2,6 мм; если бы эту же величину распространить на время с 10 августа по 31 октября, т. е. на 72 дня, то расход на испарение за это время составил бы 187 мм; выпало за это время 275 мм, должно остаться на сток 88 мм; в действительности за осенние месяцы испарение должно было быть меньшим. За это же время наблюдается стока, как указано в п. 5, с первого участка 81,3 мм, со второго участка—110 мм, в среднем 96 мм, что достаточно близко к остатку 88 мм.

Итак, среднее суточное испарение за июнь и июль оказалось 2,6 мм; коэффициент дождевого стока за август—октябрь 0,35; наибольший модуль поверхностного грунтового стока с 1 га 1,40—2,46 л.

Для суждения о типичности или исключительности этих цифр следует сравнить высоту осадков лета 1933 г. со средней многолетней (табл. 38).

Таблица 38

Месяцы	Выпало осадков	
	1933 г. на Торфяной станции	Средние многолетние по Москве ¹
Июнь	49,8	44 ²
Июль	47,6	80
Август	115,2	73
Сентябрь	131,2	55
Октябрь	63,8	60
	407,16	312

В результате сравнения оказывается, что июнь—октябрь 1933 г. были на 30% богаче осадками по сравнению со средней многолетней величиной. Поэтому, конечно, и полученные величины стока следует считать преувеличенными; к сожалению, наблюдения велись всего один год, и аналогичные по другим местам нам неизвестны.

Из наблюдений стока с элементарных площадок на минеральной почве наибольшую известность получили наблюдения С. И. Небольсина,³ проведенные им в течение 1922—1924 гг. на двух площадках возле Москвы.

Участки выбраны на старом клеверном поле, засеянном за 10—12 лет до опытов. Почва подзолистый суглинок; верхний перегнойный горизонт имеет толщину 10—12 см, скважность почвы 51%, полная влагоемкость 35—40%; площадки ограждены земляным валиком и канавой, склон обращен к северу. Размеры видны из следующей таблички:

№ площадок	Величина м ²	Длина по диагонали м	Уклоны по диагонали
1	2 278	89,8	0,020
2	2 240	76,7	0,023

В табл. 39 приведен максимальный часовой сток при снеготаянии по расчету на 1 га в секунду.

Таблица 39

Годы	Максимальный часовой сток с площадки № 2 л	Примечание
1923	8,2	На площади Торфяной опытной станции наибольший весенний модуль в 1933 г. был 0,76 л.
1924	6,7	
1925	5,3	
1926	7,7	

¹ А. В. Вознесенский. Годовой ход осадков на территории СССР. Записки ГГИ, т. X, 1933.

² За 2-ю и 3-ю декады.

³ С. И. Небольсин. Элементарный поверхностный сток. Материалы по опытномелиоративному делу, т. 1, 1928.

Наибольший весенний суточный сток за отдельные годы был в пределах от 1,55 до 3,25 л; коэффициент стока весенней воды колебался за пять лет в пределах от 0,44 до 0,76.

Неожиданные результаты дал сток летних дождевых вод. Он оказался совершенно ничтожным, составляя 0,01—0,04 от отдельных выпавших дождей при отсутствии стока в бездождные дни. Даже ливень в 53,8 мм дал коэффициент стока всего лишь 0,08 на первом участке и 0,25 на втором участке. Наибольший коэффициент стока 0,35 дал дождь в 17 мм, выпавший после сырой погоды.

С элементарных пастбищных площадок мелкого чернозема А. Д. Дубахом¹ проведены были еще наблюдения весеннего и летнего стока возле г. Воронежа. С площади 1200 м², состоявшей из 16 отдельных площадок, коэффициент стока весенней воды оказался 0,90; наибольший часовой сток по расчету с 1 га 8 л/сек., наибольший суточный сток—2,9 л/сек. Дождевые воды и здесь имели ничтожный коэффициент стока—0,01—0,001. Ливень в 44,1 мм на сухую почву дал коэффициент стока 0,01.

Приведенные наблюдения стока с элементарных площадок, нерегулярные, в различные годы, не могут, конечно, быть сопоставленными друг с другом, но они констатировали все же то существенное, что в летнее время торфяная залежь, прорезанная канавой, дает при наличии дождей значительный сток, и в мокрое время 1933 г. сток оказался неожиданно большим. Обычные же летние дожди ни с минерального ни с торфяного грунта поверхностного стока не дают.

Сток с малых речных водосборов

Из числа очень многих водомерных постов, установленных в до- и послереволюционное время на речках, которые после регулирования должны будут служить водоприемниками вод с болотных площадей, лишь по некоторым имеется доброкачественный и обработанный материал.

Первым подобным материалом являются данные по стоку со сфагновых болот—Раменского, Дмитровского района Московской области, и Оршинского, Калининского района. Весенние стоки с площадей, почти целиком занятых сфагновым болотом, за три года наблюдений приведены в табл. 40.

Таблица 40

Весенний наибольший модуль со сфагновых болот

Пункты	Водосбор га	Модули, л/сек.		
		1909 г.	1910 г.	1911 г.
Макаровский канал Раменской дачи	1 376	2,21	0,95	1,19
Пост № 2 на Денисовском канале Оршинской дачи	2 440	2,57	1,51	0,75
Пост № 3 на Денисовском канале Оршинской дачи	5 139	2,76	1,68	0,84
Пост № 4 на р. Орше . .	38 220	—	1,85	1,90

¹ Вопросы прудовой техники. 1928.

Продолжение табл. 40
Весенний пятидневный модуль

Пункты	Водосбор га	Модули, л/сек. с 1 га	
		1909 г.	1910 г.
Макаровский канал Раменской дачи	1 376	1,26	—
Пост № 2 на Денисовском канале Оршинской дачи	2 440	—	1,24
Пост № 3, на Денисовском канале Оршинской дачи	5 139	—	1,36
Пост № 4, на р. Орше	38 220	—	1,65

Приведенные наблюдения указывают на неожиданно большие весенние модули стока со сфагновых Раменского и Оршинского болот. Наблюдения по Макаровскому каналу производились весной ежедневно вертушкой и поплавком непосредственно нами и грубой ошибки содержать в себе не могли; оба болота прорезаны канавами в расстоянии 800—1000 м одна от другой. Поэтому, если бы все болота были прорезаны осушительными канавами, то весенний сток с них вызывал бы сильные паводки на реках.

В результате сравнительно многочисленных довоенных наблюдений над горизонтами воды на водоотводных каналах Белорусского Полесья Е. В. Оппокову¹ удалось вычислить расходы воды лишь по трем речкам-каналам: Мохоедовскому, Найдо-Белевскому и Любишицкому.

Мохоедовский канал, приток Припяти с правой стороны, протяжением 87 км, с площадью водосборов 1337 км², покрытой лесами и болотами, за двадцатилетний период 1895—1914 гг. пересыхал несколько раз: в сентябре 1907 г.; в августе 1909 г.; в конце мая, начале июня, в июле и в октябре 1910 г.; в сентябре 1911 г.

Процент заболоченности водосбора канала в пределах БССР равен 30,7%, в пределах УССР заболоченность меньше.

Найдо-Белевский канал, приток Припяти с левой стороны, протяжением 55 км, имеет площадь водосбора, по позднейшим определениям, 1262 км², из которых болот 51 628 га, или 40,8%, что очень много и для Полесья. На его водосборе имеется самое большое в Полесьи озеро Князь поверхностью 52 км²; пересыханий этого канала не зарегистрировано. По обоим каналам отмечается наличие высоких летне-осенних паводков, что оказывается специфическим для болотных площадей и других районов.

После того появился ряд данных по стоку на речках характера будущих водоприемников по разным районам Европейской части СССР. Но все эти данные, как и приведенные выше, отличаются неполнотой и недостаточной надежностью исходного материала; наблюдения велись почти бесконтрольно; расходы определялись грубо.

По Московской области материалы по летней межени даны О. Т. Машкевич (табл. 41).²

Средний летний модуль стока в Московской области по этим материалам равен 0,025 л.

¹ Е. В. Оппоков. К вопросу о нормах стока для осушительных каналов. 1923.

² Нормы стока с заболоченных водосборов Московской губ. 1929.

Таблица 41

Реки	Водосбор га	Сток с 1 га л/сек	За какие годы	Характер бассейна
Дубна	163 043	0,021	1914—1928	Супеси; болот 24%, под лесом 50%
Сестра	99 636	0,023	1923—1927	Глины; болот 5%
Сестра	52 842	0,025	1923—1928	Глины; болот 5%
Цапех	16 855	0,025	1922—1928	Суглинки, болот 7%, под лесом 30%
Ямуга	12 636	0,020	1923—1928	Болотные массивы
Березовка	9 229	0,054	1923—1928	Незначительные болота
Черная	4 610	0,070	1922—1927	Глины, болот 13%, под лесом 50%
Саморядовка	2 000	0,003	1922—1928	

Летний модуль стока (июнь, июль, август) по рекам Белоруссии с заболоченностью 20—60% по материалам НКЗема приведен в табл. 42.

Таблица 42

Реки и пункты	Водосбор га	Сток с 1 га л/сек.	За какие годы
Усвиж-Бук у Загатя . . .	25 509	0,038	1928—1929
Кривина у Ганькович . . .	28 939	0,054	1927—1929
Свеча у Верхового	37 663	0,096	1927—1928
Талька у Слободы	40 513	0,021	1927—1929
Волма у Заберезян	110 800	0,048	1927—1929
Оресса у Верхутина	37 978	0,038	1926—1927
„ у Кутенки	133 740	0,034	1926—1928
„ у Андреевки	339 270	0,021	1926—1928
Птичь у Крынки	210 762	0,022	1921—1929
„ у Холопенич	409 471	0,023	1921—1929
„ у Лучиц	814 513	0,025	1926—1926
Свислочь у Теребут	411 458	0,034	1922—1929
„ у Притыки	423 840	0,036	1922—1929

Из табл. 42 можно вывести, что в БССР средний летний модуль стока с сильно заболоченных водосборов равен 0,035 л/сек.

Наиболее детальные материалы по летнему стоку имеются по Ленинградской области;¹ на них необходимо подробнее остановиться. Табл. 43 является исходной для суждения о водосборах и стоках по Ленинградской области.

¹ Алексеев. Нормы стока в условиях Ленинградской области 1932 г.; рукописные материалы его же по Сев.-зап. научно-исслед. ин-ту гидротехники и мелиорации.

Таблица 43

Наименование водотоков и постов	Процент заболоченных лесов, лугов, болот плюс озера	Однократный максимум расхода с 1 га л/сек.	10-дневный максимум с 1 га, л/сек.	Какой модуль стока обеспечен на 50%	Какова обеспеченность стока выше нуля, в %	Бытовой модуль л/сек. с 1 га	Площадь водосбора, га	Время наблюдения
Горенка	94	0,46	0,20	—	100	—	3 766	—
Андога	91+2,6	0,49	0,25	0,069	100	0,026	174 000	1925—1931
Перешня	86+5	—	—	0,12	100	0,097	18 000	1914—1931
Черная	89+0,9	0,80	0,37	0,12	90	0,042	17 570	1928—1931
Плюсса п. № 3	83+0,2	0,70	0,24	0,06	100	0,042	7 970	—
Долгая	80+7	0,38	0,23	—	—	0,046	69 350	1926—1930
Кавра п. № 9	78+3,3	0,44	0,32	0,07	100	0,018	7 148	1933—1929
Пинега п. № 6	75	0,48	0,18	0,08	100	—	5 073	—
Лимба п. № 3	73+0,2	—	—	—	90	—	8 151	—
Юта № 5	72	1,2	0,43	0,20	100	0,200	8 099	1922—1929
Сана п. № 5	68+6,3	0,78	0,38	0,04	100	—	17 150	—
Сельдинский	73	—	—	—	40	—	89	—
Сана п. № 4	71,2	0,51	0,35	0,11	100	—	6 035	—
Шемьякинский	70	0,45	0,22	0,20	50	0,238	2 450	1925—1931
Кавра п. № 1	66+2,5	0,97	0,43	0,06	90	0,005	9 679	1923—1929
Кавра п. № 10	66+2,5	0,45	0,26	0,06	90	0,034	11 084	1924—1930
Замошский	63	0,54	0,18	0,03	90	0,001	2 668	1926—1930
Плюсса п. № 4	62	0,46	0,31	0,07	100	0,062	5 430	1925—1931
Сана п. № 2	61+0,6	0,60	0,22	0,06	90	—	1 257	—
Лава п. № 6	57+1,2	1,12	0,44	0,08	90	0,029	20 380	1922—1929
Лава п. № 2	58	0,55	0,27	0,07	100	0,029	7 935	1923—1929
Плюсса п. № 2	56+2,6	0,82	0,39	0,05	90	0,026	21 300	1922—1931
Лава п. № 11	55	0,71	0,35	0,09	100	0,058	8 451	1924—1930
Хуторской	44	—	—	0,0	40	—	118	—
Саря п. № 13	41	0,60	0,17	0,10	—	0,082	13 604	1925—1930
Веряжа д. Сырки	35+1,5	0,72	0,17	0,04	90	0,012	7 300	1925—1930
Кереть	28	0,77	0,22	0,02	90	0,003	17 290	1925—1931
Веряжа у д. Вяжище	27,3+4,5	0,71	0,31	0,06	90	0,035	2 430	1926—1931
Сороть	26+1	0,64	0,78	0,069	—	0,027	250 670	1926—1929
Кириковский п. № 1	32	—	—	—	50	—	133	—
Кириковский п. № 2	33	—	—	0,1	75	—	200	—
Ухтомка	0	0,57	0,23	0,06	90	0,047	15 900	—
Андреевский	0	—	—	0	40	—	79	—

Правильность приведенных в табл. 43 величин стока возбуждает сомнение. Например, р. Лава п. № 6 имеет максимальный суточный модуль 1,12 л/сек. и та же река на водомерных постах № 6 и № 11, выше по течению расположенных, имеет максимальный суточный модуль 0,55 и 0,71 л/сек. Резко выдающийся

суточный модуль 1,2 л/сек. имеет также р. Юта п. № 5. В дальнейших группировках эти два поста исключены.

Разбив приведенные по Ленинградской области реки на три группы по восемь в каждой, получим для каждой группы в порядке повышения заболоченности следующие величины суточного и десятисуточного летнего максимума с 1 га в л/сек. (табл. 44).

Таблица 44

Группы	Заболоченность водосбора %	Односуточный максим. модуль л/сек.	10-суточный максимальный модуль л/сек.
1	0—28	0,69	0,33
2	35—63	0,57	0,28
3	66—94	0,57	0,27

Следовательно, по ленинградским материалам болота умеряют летние паводки. Величины обеспеченного на 50% стока с 1 га по трем группам заболоченности за вегетационный период приведены в табл. 45.

Таблица 45

Группы	Заболоченность водосбора %	Обеспеченный на 50% модуль стока л/сек.	Примечание
1	0—28	0,059	В 1-й группе: Веряжа у Сыркова, Лава п. № 11, Саря п. № 13, Ухтомка, Кереть, Плюсса п. № 2, Сороть.
2	35—63	0,080	Во 2-й группе: Сана п. № 2, Шемьякинский, Замошский, Плюсса № 4, Сана № 4, Лава № 2, Кавра № 1, Кавра № 10, Сана № 2, Лава № 4.
3	66—94	0,092	В 3-й группе: Пинега № 6, Кавра № 9, Плюсса п. № 3, Юта п. № 5, Лимба п. № 3, Черная, Перешня, Долгая, Андога

Если бы мы были уверены в количественной и качественной достаточности материалов Северо-западного института гидротехники и мелиорации, то табл. 45 имела бы решающее значение для суждения о летнем питании рек из болот; таблица показывает, что наличие 66—94% заболоченности обеспечивает на 50% сток в 0,092 л с 1 га, а при меньшей заболоченности обеспечивается лишь 0,059 л с 1 га. Болота Ленинградской области способствуют межленному питанию рек.

По этим же трем группам водосборов выпишем средние величины стока, обеспеченного на 100%, и процент пересыхающих рек (табл. 46).

Таблица 46

Группы	Заболоченность водосбора %	Обеспеченный на 100% модуль стока л/сек	Процент непересыхающих рек	Число рек
1	0—28	0,0066	25	8
2	35—63	0,0071	40	10
3	66—94	0,0097	66	9

Эта таблица, если считать ленинградские материалы достаточными по качеству и количеству, тоже решительно показывает, что болота Ленинградской области хорошо обеспечивают сток в засушливое время. Если строить водяную мельницу, то место для нее надо выбирать на реке, вытекающей из болота.

Сток с лесоболотной площади

Косвенно выявлению стока с болотных площадей совместно с лесными могут служить достаточно точные 4-летние наблюдения, проведенные нами¹ в 1928—1931 гг. по работе в Государственном научно-исследовательском институте лесного хозяйства на речке Онце, впадающей в р. Оредеж в 70 км к югу от Ленинграда, и там же на ручье Черном и двух осушительных канавах.

Речка Онца имеет протяжение всего лишь 8700 м, если считать истоком ее выход из оз. Ширское площадью 22,5 га, находящегося на водораздельном сфагновом болоте с мощностью торфа более 4 м. Уклон по речке 0,0016 распределен равномерно по всему протяжению.

На речке установлено было в 1928 г. три водомерных поста. Характеристики их приведены в табл. 47.

Таблица 47

Положение постов	Расстояние от истока м	Площадь водосбора га	Средний уклон по реке	Уклон скатов к реке	Процент болот	Примечание
Верхний	1 800	1 230	0,0017	лев. 0,0029 прав. 0,0038	21	Заболоченность значительнее, так как и лесная площадь избыточно увлажнена
Средний	5 100	2 017	0,0015	лев. 0,003 прав. 0,0047	18	
Нижний	7 300	2 580	0,0016	лев. 0,0031 прав. 0,0043	18	
На ручье Черном	1 500	619	0,0023	—	29	

Растительный покров состоит на 40% из сосны, 15% ели, 28% березы, 3% осины, 4% лесосеки, 10% открытых болот. По водосбору р. Онцы имеется 53,5 км канав и русел; по водосбору ручья Черного—17 км канав и русел.

Наибольшие суточные весенние модули стока (в л/сек с 1 га) приведены в табл. 48.

¹ Совместно с ассистентом С. П. Кузнецовым.

Таблица 48

Положение постов	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.	Примечание
Река Онца					
Верхний пост	0,94	0,53	0,57	1,58	В 1931 г. подтопление из р. Оредеж
Средний „	0,57	0,37	0,37	1,28	
Нижний „	0,62	0,50	0,64	1,32	
Ручей Черный	—	0,61	0,63	2,30	

Наибольшие пятидневные весенние модули стока приведены в табл. 49.

Таблица 49

Положение постов	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Река Онца				
Верхний пост	0,67	0,46	0,46	—
Средний „	0,53	0,34	0,33	1,07
Нижний „	0,59	0,42	0,52	1,16
Ручей Черный	—	0,54	0,50	2,00

Наибольшие летне-осенние паводковые модули приведены в табл. 50.

Таблица 50

Положение постов	Однодневные				Пятидневные			
	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Река Онца								
Верхний пост	1,04	0,26	0,80	0,66	0,88	0,18	0,48	0,41
Средний „	—	—	—	—	0,72	0,23	0,33	0,42
Нижний „	—	—	—	—	0,66	0,186	0,63	0,33
Ручей Черный	—	—	—	—	—	0,177	—	0,61

Табл. 48, 49 и 50, не давая, конечно, ответа на вопрос о сравнительном стоке с болотных и минеральных водосборов, указывают на другое достаточно важное обстоятельство: лесоболотные водосборы Ленинградского района дают в течение года, как правило, два максимума стока, причем осенний максимум, как однодневный, так и пятидневный, два раза из четырех лет был выше весеннего паводка.

Наличие высоких летне-осенних паводков с болотно-лесных водосборов отметил уже Е. В. Оппоков при опубликовании величин стока по каналам Полесья (1923 г.).

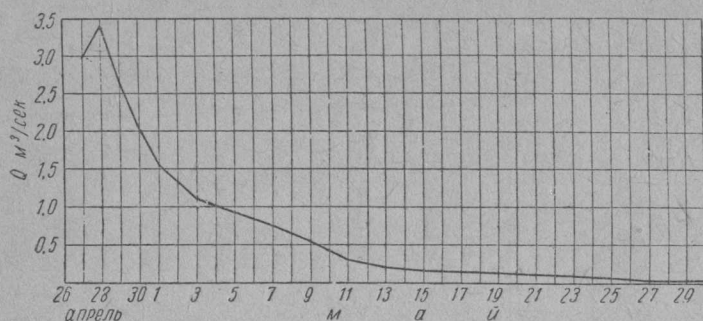


Рис. 17. Расход воды по реке Онце в бездождный период весны 1931 г. при водосборе 2580 га.

Сток снеговых запасов. В 1931 г. имелась возможность проследить, как уменьшается с болотно-лесного водосбора р. Онцы сток весенних вод, не пополняе-

Гидрологически это значит, что осенние дожди быстро насыщают торфяной и минеральный грунт и дают большой коэффициент стока; в производственном отношении это должно учитываться тем, что незаконченный весенний сплав леса может быть с большим вероятием продолжен осенью.

Средний летний за июнь, июль и август модуль стока по р. Онце приведен в табл. 51.

Таблица 51

Положение постов	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Река Онца				
Верхний пост . . .	0,016	0,016	0,050	0,054
Средний „	0,013	0,012	0,035	0,051
Нижний „	0,014	0,025	0,024	—

мый атмосферными осадками. Конец апреля и весь май 1931 г. характеризуются почти полным отсутствием атмосферных осадков, что видно из следующей таблички:

Дата	Осадки мм
21—30 апреля	3,0
1—10 мая	0,1
11—20 „	4,0
21—31 „	2,4

Максимум весенней воды в 1931 г. на р. Онце был 28 апреля. Снеговой покров в лесу совершенно сошел к 29 апреля; указанные условия показывают, что речка Онца и ручей Черный за апрель и май питались исключительно запасами весеннего снеготаяния, и потому, проследив падение расходов воды в этих водотоках, мы проследили тем самым расходование запасов воды из бассейна их при отсутствии пополнения (рис. 17 и 18).

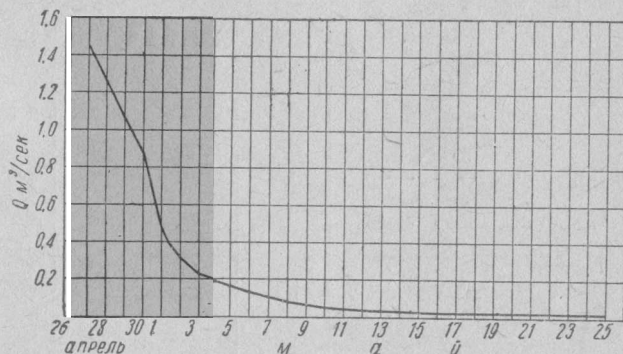


Рис. 18. Расходы воды по ручью Черному в бездождный период весны 1931 г. при водосборе 619 га.

Таблица 52

Месяц и число	Расход воды, м³/сек		Отношения, %	
	нижний пост	р. Черный	нижний пост	р. Черный
Апрель				
27	2,950	1,438	—	—
28	3,395	1,275	100	100
29	2,601	1,062	70	83
30	2,085	0,879	61	69
Май				
1	1,551	0,462	45	36
3	1,110	0,223	32	18
5	0,920	0,168	27	13
7	0,764	0,097	22	76
9	0,535	0,060	15	4,7
11	0,280	0,045	8	3,6
13	0,207	0,041	6	3,2
15	0,145	0,031	4,3	2,4
17	0,145	0,035	4,3	2,8
19	0,120	0,031	3,6	2,4
21	0,090	0,026	2,6	2,0
23	0,080	0,026	2,3	2,0
25	0,043	0,017	1,3	1,3
27	0,024	0,017	0,7	1,3
29	0,035	0,005	1,0	0,4
31	0,024	0,004	0,7	0,3

Приведенные в табл. 52 цифры показывают, что полное истощение запасов снеговой влаги с лесо-болотного бассейна произошло в 1931 г. в течение 33 дней, причем уже на третий день после максимума расход составлял всего лишь 50% от максимального, а в течение 28 дней расход снизился до 1% от максимального.

Весна 1931 г. дает возможность сделать еще подсчет кубатуры воды, поступившей в речку Онцу со дня начала весеннего таяния, т. е. с 16 апреля, и по день почти прекратившегося стока—31 мая. За указанный срок, с 16 апреля по 31 мая 1931 г., через нижний водомерный пост на речке Онце прошло 2 920 593 м³ воды, что при площади водосбора в 2580 га соответствует стоку столба воды в 113 мм.

Атмосферных осадков выпало за это время 13 мм; следовательно, стекло снеговой воды и грунтового запаса ровно 100 мм.

Высота снегового покрова при начале таяния определена в 470 мм; при плотности 0,35 это дало запас воды в снеге 165 мм, стекло 100 мм; следовательно, коэффициент стока снеговой воды 60%.

За то же время по ручью Черному стекло 1 162 079 м³ воды, что при водосборе в 619 га соответствует слою воды 109 мм.

Чувствительность стока с лесо-болотного водосбора к выпадению дождя. Бездождная весна 1931 г. дала возможность отчетливо проследить влияние выпадения осадков на увеличение стока после длительного бездождия.

Таблица 53

Дата	Атмосферн. осадки мм	Расход по р. Онце, нижний пост, водосбор 2580 га м³/сек
Май		Расход за 1—10 падал с 1,551 до 0,024
1—10	0,1	
11—20	4,0	
21—31	2,4	
Июнь		
1	12,2	0,020
2	23,4	0,022
3	0,1	0,223
4	1,2	0,095
5	2,1	0,076
6	2,4	1,265
7	0,2	1,465
8	4,4	1,505
9	4,5	1,465
10	28,8	1,590
11	9,7	1,385
12	7,9	1,225
13	0,1	1,455

Примечание. Бездождный период с 1 по 31 мая.

Табл. 53 показывает, что двухдневные осадки 1—2 июня в 35,6 мм дали сначала незначительное увеличение расхода воды в р. Онце благодаря попаданию дождя в русло реки, в каналы и на скаты возле реки; эта вода держалась один день и начала быстро спадать. Лишь на 4—5-й день после тех же дождей вода в Онце сильно поднялась; объяснения этому не имеем: можно лишь предполагать, что это пошла вода дождей 1—2 июня, просочившаяся через торфяной и глинистый грунт.

Сток с больших речных бассейнов

Вопрос о влиянии болот на питание рек в некоторой мере освещается новыми материалами по стоку по р. Днепру и его притокам, приводимыми членом Украинской Академии наук Е. В. Оппоковым.¹

Таблица 54

Реки	Водосбор км ²	Осадки 1884—1917 гг. мм	Модуль стока л/сек с/км ²					лето 1921 г.
			средн. год.	весна	лето	осень	зима	
Днепр у Лоева	97 589	577	6,3	11,8	3,3	3,5	3,2	1,3
Припять в Мозыре	100 283	578	4,0	7,1	2,3	2,2	2,5	0,41
Десна в устьи	86 829	543	4,0	8,8	2,1	1,9	1,9	0,70

Если признавать приведенные величины модуля стока точными, а к этому имеется основание, так как гидрология Днепра подверглась очень тщательному изучению в связи со строительством Днепрогэса, то получаются ясные и существенные выводы.

1. По реке Припяти сток в течение года более выравненный, чем по Десне и Днепру.

2. По реке Припяти весенний сток меньше, а летний, осенний и зимний больше, чем по Десне, на 12⁰/₀, хотя атмосферных осадков выпадает на водосборе р. Припяти всего на 6⁰/₀ больше, чем на Десне.

3. Таким образом в бассейне р. Припяти имеются факторы, умеряющие весенние паводки и увеличивающие летний и осенний сток.

Отличие бассейна р. Припяти имеется двоякое: а) площадь болот около 19,1⁰/₀, леса около 24,5⁰/₀, по Десне же болот 5,7⁰/₀; леса 13,7, т. е. значительно меньше; б) большие притоки Припяти Стырь и Горынь берут начало в Карпатских горах.

Учитывая приведенный ранее материал по характеру растительности болот, по испарению с поверхности сфагновых мхов, по стоку с элементарных площадок на Торфяной опытной станции и по стоку речек Ленинградской области, мы склонны приписывать увеличенный летний сток по Припяти совместному гидрологическому влиянию болот и лесов, распространенных в бассейне Припяти, а смягчение весенних паводков следует приписать сравнительно малым уклонам водосбора Припяти.

Показанные в табл. 54 модули стока для самого засушливого 1921 г., для Припяти меньшие по сравнению с Десной, не могут изменить общего значения средних величин стока за период 1878—1928 гг.

Помимо того, необходимо было бы сопоставить атмосферные осадки в засуху 1921 г. по водосбору р. Десны и по водосбору Припяти, так как они, может быть, значительно отличались, но сделать это невозможно, потому что за 1921 г. метеорологические наблюдения по водосбору р. Припяти не вошли в опубликованные материалы.

¹ Акад. Е. В. Оппоков. Водные ресурсы и физико-географические условия их использования в бассейне р. Днепра. Известия ГИ, № 59, 1933.

Образование болот происходит по двум основным схемам: на водоемах и на суходолах.

Схема образования болот на водоемах

Эта схема была разработана первоначально в Германии, отсюда перешла в дореволюционное время в русские научные и популярные издания, была проверена в условиях СССР и может быть названа „классической“ схемой.

На первоначально минеральное дно всякого озера или вообще водоема, образовавшегося после таяния ледника, происходило оседание минеральных и органических частиц грунта, смытого с водосборной площади озера впадающими в него ручьями или непосредственно отмываемого волнами от берегов озера. Кроме того, из стекающих в озеро вод происходило в некоторых случаях осаждение веществ, приносимых в растворе, преимущественно углекислого кальция—извести. Эти минеральные наносы и осадки, вместе с остатками микроскопических растений и животных (планктона), а также с выделениями и с остатками водяных животных образуют первый слой отложений на дне водоема—плотный минеральный, обычно мергелистый слой серого цвета.

В это же время со дна озера до некоторой определенной глубины развиваются водяные растения, показывающиеся на поверхности лишь во время цветения: подводные рдесты, водоперица, роголистник, и др. Ежегодные остатки этих растений, не разлагающиеся в воде за недостатком кислорода, вместе с минеральными наносами, отбросами и трупами водяных животных образуют второй горизонт отложений—минерально-органический, так называемый печеночный торф (гиттия, мудда или сапропель).

С мелких берегов водоема надвигаются на середину высокие камыши (*Scirpus lacustris*) и тростники (*Phragmites communis*), а впереди них еще плавают: желтая кувшинка (*Nuphar luteum*) и белая лилия (*Nymphaea alba*). Эти растения ежегодно образуют большую массу стеблей и листьев, которая отмирая падает в воду и консервируется; образуется третий горизонт отложений уже со значительным преобладанием органического вещества над минеральным—слой тростникового торфа. Среди тростника развивается значительное число других видов растений, перечисление которых приводится в болотоведческой литературе.

По мере обмеления озера вследствие ежегодных отложений отмирающих и падающих в воду тростников, камышей и сопутствующих им растений развиваются мелководные растения: хвощи (*Equisetum*), осоки (*Carex*) и многие другие водолюбивые растения, отложения которых уже поднимаются над поверхностью воды в озере, но затопляются весенними и летними высокими водами, из которых оседают взмученные частицы плодородного ила. На месте водоема образуется, следовательно, болото низменное по положению, называемое поэтому в классификации низинным, и травяное по растительности, с преобладанием осок, среди которых растут также манник водный (*Glyceria*), канареечник (*Phalaris*), вейник (*Calamagrostis*), хвощ (*Equisetum*) и многие другие). Кроме того, образуется моховой покров из гипновых мхов (*Calliergon* и *Drepanocladus*).

Продолжающиеся отложения травяной флоры поднимают поверхность торфяных отложений все выше и выше, она перестает затопляться весенней водой; следовательно, на нее меньше оседает минеральной удобряющей мути. Поэтому осоки, требующие для построения своего тела много минеральных солей, начинают страдать; хорошие условия создаются для кустарников и древесной растительности; появляются кусты ивы (*Saxifraga*) и ольхи (*Alnus*), причем ольха достигает на таких болотах большого роста. В дальнейшем ива постепенно вымирает, уступая место черной ольхе, которая в свою очередь, по мере поднятия поверхности болота и обеднения его поэтому зольными веществами, уступает место березе и сосне. Болото из стадии травяного переходит в лесное или „переходное“. Между древесной растительностью развиваются зеленые гипновые мхи, белые сфагновые мхи, обильно растущие осоки, но иных видов, чем первоначально развивавшиеся по берегу озера.

Вследствие дальнейшего накопления органического вещества, при отсутствии в то же время увеличения запасов минеральных веществ, происходит дальнейшая смена растительного покрова, выражающаяся в исчезновении осок и всего разнотравья, свойственного еще переходным болотам, и развитии взамен того белых мхов—сфагнумов, наименее нуждающихся в минеральном питании. Вся поверхность болота покрывается сплошным слоем насыщенного водою сфагнума, который, облекая основания древесных стволов, прекращает доступ воздуха к корням древесной растительности, вызывая тем отмирание ее; ольха, ива, береза и, наконец, сосны прекращают свой рост и выпадают. Поверхность болота благодаря быстрому нарастанию сфагнума поднимается все выше и выше, принимает выпуклую форму по отношению ко всей периферии; болото переходит в стадию сфагнового по основной растительности и „верхового“ по положению поверхности.

Вследствие распространенности сфагновых болот, устойчивости признаков и наибольшего гидрологического значения их необходимо остановиться несколько на растительности этого типа болот.

Основными и наиболее распространенными видами сфагнумов, образующими эту стадию болота, являются: ¹ *Sphagnum fuscum*—бурый мох (Европа, Азия, Канада); *Sphagnum medium*—красный мох (там же и Шотландия); *S. cuspidatum* (Европа, Закавказье); *S. acutifolium* (Европа, Закавказье, Шотландия).

Часто встречаются еще сфагнумы: *angustifolium*, *balticum*, *cymbifolium*, *parvifolium*, *Dusenii*.

Из перечисленных мхов *Sphagnum fuscum* образует гряды между мочажинами, а *Sphagnum cuspidatum* и *Sph. Dusenii* занимают мочажинные места.

Определение ботанического вида мха доступно лишь специалисту-ботанику, и притом часто лишь с помощью сильного увеличения.

Кроме сфагнового покрова, для „верхового“ болота специфичны полукустарники—полутравы, образующие верхний ярус растительности, местами также сплошной: багульник (*Ledum palustre*); багун, или кассандра (*Cassandra Calyculata*); подбел (*Andromeda polyfolia*); вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*); голубика (*Vaccinium uliginosum*); черника (*Vaccinium myrtillus*); клюква (*Oxycoccus palustris*); ерник (*Empetrum nigrum*).

На севере к этому присоединяется еще морошка—*Rubus Chamaemorus* (Европа, Сибирь, Канада).

Из травяной растительности на верховых болотах обычны в Европе, Сибири и Канаде: шейхцерия (*Scheuchzeria palustris*), очеретник (*Rynchospora alba*), осока (*Carex pauciflora*, *filiformis*, *lasiocarpa* и др.), пушица (*Eriophorum vaginatum*).

Реже, но специфична для моховых болот севера и юга роснянка (*Drosera rotundifolia*).

¹ В Европейской части СССР—по статье Д. Г. Ерасимова, Торфяное дело, № 1, 1929, — Полстовский район. В Канаде—по статье Ауэра в журнале *Meddelanden* и т. д. 1929. В Сибири—по брошюре А. Я. Бронзова. Верховые болота Нарымского края, 1930.

Из древесной растительности на верховом болоте держатся лишь: сосна (*Pinus silverstris*), принимающая низкорослые формы нескольких разновидностей; береза карликовая (*Betula nana*), стелющийся кустарник, встречающийся к северу, начиная с окрестностей Ленинграда.

Сфагновый покров, разрастаясь в высоту и образуя выпуклую форму болота, распространяется и вширь, выходя за пределы водоема, на котором он первоначально возник; следовательно, первоначальное продвижение сфагнового покрова от периферии к центру водоема сменяется затем продвижением за пределы первоначального водоема с захватом прилегающих суходолов.

С увеличением площади сфагнового болота и выпуклости его поверхность его претерпевает дифференциацию (расчленение), вызываемую влиянием и деятельностью избытка атмосферных вод, ищущих стока с болота.

В климатических условиях северной половины СССР выпадающей атмосферной влаги больше, чем ее испарения со сфагнового болота, вследствие чего излишек воды ищет выхода с болота, образуя постепенно в поверхностных слоях торфа скопления воды в виде „вторичных“ озер и русла вторичных речек, дно и берега которых образованы торфом.

Впоследствии дренирующее действие вторичных русел может оказаться настолько сильным, что торф по берегам их уплотняется и на нем появляется вновь сосна невысокого, конечно, качества. Как показатели сухости в этой стадии жизни болота на поверхности его появляются лишайники (*Cladonia*).

Таким образом на месте первоначального водоема образуется в течение долгого времени сначала травяное болото, затем лесное и, наконец, сфагновое, на котором может появиться вновь мелководное озеро с торфяным дном и берегами.

По потребности в питательных веществах растительность травяных болот (тростники, осоки, хвощи и др.) называют эутрофной, т. е. требующей богатой пищи, растительность сфагновых болот называют олиготрофной, т. е. довольствующейся скудной пищей, а растительность переходных болот—мезотрофной. Терминология эта взята из древнегреческого языка.

Образование болот на суходолах

Значительные площади болот образовались не зарастанием водоемов, а непосредственно на минеральном грунте. Причины и процесс образования болота в этом случае бывают различны:

1. Равнинный рельеф и наличие на поверхности или близ поверхности водонепроницаемого грунта, обычно глины, ведут к постоянному избыточному содержанию влаги в верхнем горизонте грунта. Под покровом елового и соснового леса в этих условиях на плодородном грунте появляются обычно зеленые мхи, особенно кукушкин лен (*Polytrichum commune*),—первый вестник наступающего заболачивания. Из зеленых мхов также часты: *Dicranum*, *Pleurosum*, *Aulacomnium*, *Hylacomnium*.

После того, как кукушкин лен образует небольшой слой торфа, появляются сфагнумы, постепенно вытесняющие кукушкин лен. Сфагнум облекает стволы деревьев и, насыщенный водой, прекращает доступ воздуха к корням их, под влиянием чего в первую очередь гибнет ель; сосна еще продолжительное время продолжает расти, испытывая постепенно все большее и большее угнетение; вследствие замедления и прекращения роста в высоту крона ее закругляется. На месте леса оказывается сфагновое болото. Если почва в лесу была в достаточной мере выщелочена и не содержала извести, то на минеральном грунте в условиях избыточной влажности сфагнумы появляются сразу, без предварительного развития зеленых мхов.

Таким образом в переходах елового и соснового леса в болото наблюдаются три стадии:

1-я стадия: тип леса *Pinetum* или *Piceetum polytrichosum*—сосняк или ельник при почвенном покрове из зеленых мхов;

2-я стадия: тип леса *Pinetum Sphagnosum*—сосняк при покрове из сфагновых мхов; условия роста обычно 5-го бонитета.

3-я стадия: болото, *Sphagnetum pinosum*—сфагновое болото с сосной, не имеющей товарной ценности; эти площади относятся лесоустроителями к неудобным землям.

Болотоведы разделяют 3-ю стадию еще на две:

а) *Sphagnetum magno-pinosum*—сфагновое болото с сосной средних размеров;

б) *Sphagnetum nano-pinosum*—сфагновое болото с низкорослой сосной.

2. Водонепроницаемость лесных почв и потому склонность их к заболачиванию создается иногда залеганием под лесом непроницаемого ортштейнового слоя, или красной руды, из сцементированной материнской породы. Разложение скопляющейся лесной подстилки, происходящее при участии грибной флоры, дает в результате креновую кислоту, соединения которой легко растворимы; поэтому при просачивании воды вглубь почвы она увлекает с собой в растворе все минеральные вещества почвы, соединенные с креновой кислотой, кроме кремнезема. Встречая на своем пути избыток минеральных оснований, креновая кислота нейтрализуется и вследствие недостатка на глубине кислорода переходит в апокреновую кислоту, соли которой трудно растворимы и потому выделяются, цементируя материнскую породу в твердые соли или отдельные скопления, называемые ортштейном.

О том, насколько часто заболачивание в СССР леса является следствием ортштейнообразования, имеется очень мало данных. По мнению В. Н. Сукачева, «скорее есть основание думать, что этот процесс у нас далеко не играет той роли, какую ему приписывают некоторые германские болотоведы. Так, Каяндер в Финляндии ортштейнообразованию не придает большого значения. Из всех частей СССР имеется чрезвычайно мало достоверно известных мест, где можно было бы утверждать, что образование ортштейна вызывало заболачивание. Если это и указывается, то только для понижений среди песчаных почв. В большей же части севера СССР, где почвы по преимуществу глинисты или суглинистые, заболачивание вовсе не связано с появлением ортштейна».

3. Заболачивание проявляется часто на месте вырубленного леса не только в низинах, но и на возвышенных местах. Лесосека покрывается злаками, среди которых чаще всего растут одновременно вейник и луговик (*Calamagrostis* и *Aiga*), образующие плотную дернину, которая является препятствием для возобновления древесной растительности и способствует застаиванию влаги. Наряду с вейником и луговиком разрастается зеленый мох—кукушкин лен, охватывающий и заглушающий оставшиеся из-под леса растения. Через несколько лет на создавшемся субстрате появляется мох-сфагнум и образуется моховое болото.

4. Затрудненный сток весенней воды с речных долин в русло рек вследствие малой глубины русла, наличия береговых валов, малого уклона русла вызывает застаивание воды по пойме и образование низинных болот—займищ с осоковой растительностью и с мелким отложением торфа.

Здесь же следует отнести заболачивание речных долин в черноземной полосе, вызываемое овражными наносами. В речные долины черноземной области впадают действующие овраги, из которых во время весеннего снеготаяния и после летних ливней выносятся значительное количество мелких и крупных частиц земли. Эти выносы отлагаются при выходе из оврага в долину реки, образуя так называемый конус выноса. Если русло реки проходит недалеко от места выхода оврага, то овражные выносы засыпают русло, вызывая разлив воды по лугу.

5. Заболачивание приречных низменностей происходит также вследствие поднятия уровня воды в реке, производимого устройством плотин. В этом случае происходит затопление водою с поверхности и подтопление площади поднятием грунтовой воды. Злаковая растительность сменяется осоковой, происходит накопление растительных остатков, удерживающих в себе влагу; на этом субстрате поселяются затем мхи и идет описанный уже процесс смены растительности, приводящий к господству сфагнума.

6. Заболачивание луга происходит также вследствие выхода грунтовых вод у подножия склонов. Такое заболачивание идет обычно неширокой полосой, и характерными растениями этого процесса являются: хвощ болотный, осоки, пушица; из деревьев здесь развиваются черная ольха и береза.

7. Очагами заболачивания водоразделов служат иногда мелкие впадины, возникшие как провалы на местах выноса грунтовыми водами растворимых солей, а также на местах механического выноса мелкопесчаного грунта из-под слоя глины.

Нарымский край (Западная Сибирь) считается типовой страной такого суффузионного рельефа; образовавшиеся в провальной западине болота и начавшийся процесс нарастания мха смыкают отдельные очаги своего развития и создают сплошные водораздельные сфагновые массивы.

8. В области тундры причиной заболачивания является весьма малое испарение с поверхности земли и залегание на близком от поверхности земли расстоянии слоя вечной мерзлоты; мерзлый слой непроницаем для воды и потому вызывает скопления ее у поверхности. Вечная мерзлота и глина задерживают всю воду, а высокая температура вегетационного периода и влажный летний климат создают колоссальную травяную растительность, очень содействующую заболачиванию. Трава дает массу мертвого покрова, который задерживает оттаивание земли все лето, препятствует испарению и механически задерживает сток воды. Все это в результате дает торфяные скопления и образует кочки высотой в 1 м, покрывающие пологие склоны и долины; такие кочкарники в Амурском крае носят название мари.

9. В районах орошения заболачивание пониженных мест вызывается стеканием в них воды с орошаемых площадей как оставшейся неиспользованной непосредственно из каналов, так и просачивающейся через грунт. Эти пониженные места являются вреднейшими пунктами орошаемых райсов, так как в них размножается малярийный комар.

10. Наконец, имеется теория-схема образования болот акад. Вильямса как естественный ход жизни всякого луга в зоне избыточного увлажнения, сущность которой состоит в следующем. В северной половине СССР пожнивные остатки и корни луговых растений на минеральной почве вследствие краткости времени, невысокой температуры и значительной влажности не успевают в течение осени разложиться до минерального остатка. Корневища злаков дают в почве бесчисленные разветвления, которые в конце концов образуют на глубине своего развития органический прослой, насыщающийся вследствие своей гигроскопичности влагой, задерживающий проникновение воздуха в глубь почвы и побуждающий разветвления корневищ подниматься все ближе к поверхности луга.

Вследствие этого органический прослой в почве становится все толще; обладая большой влагоемкостью и гигроскопичностью, он насыщается водой, затрудняя этим еще более аэрацию почвы. Результатом этого и является заболачивание первоначально минерального грунта луга, накопление в нем органического вещества, насыщающегося водою, и переход в болото.

Наращение болот

Изложенный процесс образования болот указывает, что болото специфично отличается от суши и от водоемов своими переходами от одного типа к другому, своим превращением живых растений в мертвое органическое вещество и превращением последнего в торф. Торф интересует нас здесь главным образом как вещество, держащее в себе до 94% воды; следовательно, происходящее ежегодное нарастание мохового покрова и накопление торфа увеличивает объем воды, находящейся в механически связанном состоянии и потому выпадающей из общего круговорота воды в природе или участвующей в этом круговороте в весьма замедленном темпе.

С какой же быстротой идет накопление торфа? 15 лет тому назад мы еще не располагали материалом, который давал бы возможность ответить на вопрос, сколько

лет необходимо для нарастания мохового болота на 25, 50 или 100 см высоты; имелись лишь случайные данные из немецкой литературы. В настоящее время нарастание болот в высоту в некоторой мере расшифровано. Имеется шесть методов определения нарастания сфагнового болота в высоту.

1. Метод „росянки“. Величина нарастания сфагнового покрова за 1—3 года определяется по растущей на сфагновом болоте росянке (*Drosera rotundifolia*), которая находится на болотах Европы, Закавказья, Сибири. Росянка образует ежегодно у поверхности мохового покрова мутовку листьев, вследствие чего вертикальное расстояние между следами мутовок на сохраняющемся в течение 2—3 лет во мху стебле росянки указывает толщину нарастающего за год свежего мха.

Этот способ определения годичного нарастания мха по мутовкам на стебле росянки был применен в массовом масштабе М. М. Юрьевым со следующими результатами.¹

На Лахтинском болоте, расположенном в 6 км к северу от Ленинграда, сделано 600 наблюдений, из которых 66% показали годичное нарастание мохового покрова в пределах от 20 до 40 мм при средней величине 29 мм из всех наблюдений и при максимальной величине 60 мм.

Одна и та же росянка, сохраняющая свои отмершие розетки прошлых лет погребенными в торфе, отчетливо показывает, что на протяжении 3—4 лет сфагновый покров дает весьма различный годичный прирост в высоту.

На Кольском полуострове в районе оз. Имандры и г. Мурманска ежегодный прирост по росянке определен в 8 мм.

У Холмогор годичный прирост определен в 15 мм.

В Карачаевском районе Курской области на болоте Пыльцо в 1913 г. годичный прирост покрова определен Юрьевым в 48 мм.

В б. Новгородской губернии, по наблюдениям В. Н. Сукачева и Юрьева, годичный прирост сфагнового покрова по росянке определен в 35 мм.

В Бузулукском бору б. Самарской губернии по наблюдениям В. Н. Сукачева ежегодный средний прирост болот равен 30 мм.

На Зоринских болотах Курской области в лесостепной зоне годичное нарастание определено в 45 мм.

Ясно, конечно, что по расстоянию между мутовками листьев росянки определяется толщина нарастающего за год сфагнового покрова после уплотнения его в течение одного мертвого сезона зимы; в последующие годы происходит дальнейшее уплотнение отложившихся годичных слоев, и потому суммарная высота нарастания, например за пять лет, оказывается значительно меньшей, чем пятикратное годичное нарастание.

Поэтому для определения нарастания сфагнового болота в высоту за продолжительные периоды времени применяется иной метод, именно метод измерения нарастания сфагноума над корневой шейкой сосен.

2. Метод „сосны“. Сущность второго метода определения нарастания торфяника в высоту основана на том, что корневая шейка прорастающей на болоте сосны находится близ поверхности мохового покрова. С каждым годом ствол сосны растет вверх, корни развиваются вглубь и вширь, а корневая шейка остается на

месте, опускаясь лишь вместе со всей массой торфяника. Поэтому нарастающий моховой покров покрывает корневую шейку все большим и большим слоем (рис. 19).

Измерив толщину мохового слоя над корневой шейкой сосны и определив по годичным отложениям древесины возраст сосны, легко вычислить среднегодовую величину нарастания мха и за малые и за многолетние периоды времени.

¹ М. М. Юрьев. О росте сфагновых болот. Известия Научно-мелиорационного ин-та вып. X, 1925.

Вследствие постепенного уплотнения моховой массы под действием давления на нее нарастающего выше мха, а также снега и вследствие происходящих процессов оторфованности мха, плотность массы с течением времени увеличивается. Поэтому ясно, что среднегодовая величина нарастания мха оказывается тем меньше, чем за больший период она вычисляется.

Определение высоты мохового покрова над корневой шейкой сосны может быть произведено в каждом отдельном случае лишь очень грубо, особенно при наличии моховых кочек. Также не вполне может быть определен и возраст сосны по тончайшим годичным отложениям древесины. Поэтому необходим по каждому болоту массовый материал, при котором сглаживаются неточности единичных наблюдений.

Известен математический парадокс, что на грубых весах с набором крупных гирь можно определить вес тела с какой угодно точностью—надо только произвести очень большое число самостоятельных взвешиваний этого тела. Исходя из этих положений, А. Д. Дубахом было организовано в Белоруссии в 1924 и 1925 гг. взятие с четырех болот 3091 сосны, у каждой из которых была определена толщина сфагнового слоя, выросшего над корневой шейкой, и возраст, соответствующий продолжительности нарастания. Сосны с каждого болота были сгруппированы по возрасту их через каждые пять лет, и таким образом получены были следующие средние высоты нарастания мохового покрова за различные периоды времени (табл. 55).

Таблица 55

Продолжительность периода нарастания, годы	Наблюденная средняя высота <i>H</i> выросшего мохового покрова за весь период, мм				
	Горькое болото Оршанского округа	Пышачское болото Борисовского округа	Хоминское болото Бобруйского округа	Глинкинское слабо осушенное	Глинкинское сильно осушенное
6—10	108	172	—	80	56
11—15	135	217	189	118	73
16—20	185	297	221	124	97
21—25	225	315	251	168	152
26—30	279	356	277	213	171
31—35	307	370	300	240	172
36—40	331	407	327	308	186
41—45	340	409	—	340	189
51—55	371	451	—	435	260
56—60	400	464	—	447	273
61—65	384	447	—	479	302
66—70	483	517	—	469	313
71—75	321	489	—	482	343
76—80	—	507	—	499	359
81—85	—	556	—	540	307
86—90	—	510	—	510	440
91—95	—	493	—	539	437
96—100	—	441	—	539	490
101—105	—	515	—	513	484
106—110	—	432	—	648	—
111—115	—	565	—	—	—
116—120	—	590	—	—	—
121—125	—	554	—	—	—

Примечания: 1. Моховое болото в Горькой лесной даче Оршанского округа БССР, в части, прилегающей к селению Чепелинке. Взято 1014 сосен. На исследованную часть болота имеется план в горизонталях и зондировка торфа. Болото типичное моховое, покрытое мхами *Sphagnum medium* и *Sphagnum parvifolium*,¹ багульником, подбе-

¹ По определению Торфяного отдела Наркомзема РСФСР.

лом, болотным вереском, клюквой, росянкой, пушицей, местами шейхцерией и осокой повислой. Средняя глубина торфа вместе с очесом 1,73 м. Торф слабо разложившийся. Дном торфяника является котловина с наибольшей глубиной бывшего водоема в 2,21 м при вероятной площади бывшего зеркала воды 87 га. Ныне поверхность болота в высшей точке на 2,52 м выше бывшего зеркала воды.

2. Моховое болото в Пыщачской лесной даче в районе оз. Нерыб Борисовского округа; имеет в исследованной части среднюю мощность слабо разложившегося торфа в 5,64 м, взято 898 сосен.

3. Моховое болото в Глинкинской лесной даче близ ж.-д. ст. Славное, Оршанского округа. Средняя мощность торфа 3,48 м. Торф разложившийся. В 1912 и 1913 гг. по болоту прорыты осушительные каналы в расстоянии 600 м друг от друга, а в 1916 г. значительная площадь болота была подготовлена под выработку торфа с прорытием картовых канав, глубиной в 1 м, через 50 м одна от другой; взята 971 сосна.

Число проанализированных сосен по каждой группе показано в табл. 56.

Таблица 56

Продолжительность нарастания периода годы	Число сосен				
	Горецкое болото	Пыщачское болото	Хоминское болото	Глинкинское слабо осушенное	Глинкинское сильно осушенное
6—10	25	2	—	13	1
11—15	39	7	21	13	1
16—20	109	30	64	21	12
21—25	134	69	76	34	11
26—30	116	54	30	32	10
31—35	147	82	5	38	9
36—40	131	82	2	49	17
41—45	119	82	—	48	27
46—50	82	88	—	53	21
51—55	59	70	—	67	35
56—60	26	77	—	68	32
61—65	14	62	—	80	28
66—70	6	54	—	78	13
71—75	5	46	—	48	11
76—80	1	34	—	39	7
81—85	—	23	—	24	4
86—90	—	17	—	13	2
91—95	1	7	—	5	6
96—100	—	4	—	2	1
101—105	—	3	—	1	3
106—110	—	1	—	1	—
111—115	—	1	—	—	—
116—120	—	1	—	—	—
121—125	—	2	—	—	—
Итого . . .	1 014	898	198	727	254

Чем больше число проанализированных сосен какого-либо пятилетия, тем более надежна величина среднего годовичного нарастания; где число сосен равно единице, там полученная высота нарастания мха может считаться случайной.

Сводка наблюдений по Белоруссии дает следующие величины нарастания сфагновых болот по высоте:

За 20 лет	около 20 см
" 50 "	" 40 "
" 100 "	" 50 "

На болоте Галицкий мох, в 125 км к северо-западу от Москвы, где ныне помещается Торфяная опытная станция, получены следующие величины нарастания мохового покрова (см. табл. 57).

Всматриваясь в высоты наростшего мха на болотах Белоруссии и на болоте Галицкий мох, можно видеть, что¹ на Галицком мхе был продолжительный период отсутствия нарастания суммарной толщи сфагновых отложений, происходила даже убыль толщи (45—70 лет до года наблюдений); отсутствие нарастания толщи отложений в период 61—65 лет до 1925 г. видно и на болотах Белоруссии (Горецкое, Пыщачское, Глинкинские).

Многочисленные наблюдения по методу взятия сосен, произведенные М. М. Юрьевым в Ленинградской области, сведены в табл. 58, показывающую величины нарастания за различную продолжительность времени (в миллиметрах).²

Приведенная сводка наблюдений М. М. Юрьева по Ленинградской области указывает на значительную разницу в темпе нарастания мха на сфагновых болотах типа *magno pinosum* („большие сосны“) и *paupo pinosum* („малые сосны“). Тип *magno pinosum* дает за 50 лет около 40 см, т. е., как и в Белоруссии, тип *paupo pinosum* дает за это время около 75 см.

Таблица 57

Продолжительность нарастания годы	Высота наростшего мохового покрова за все время мм
5	122
10	204
15	238
20	272
25	294
30	303
35	311
40	310
45	288
50	277
55	290
60	289
70	289
80	304
115	392

Таблица 58

Продолжительность нарастания годы	Тип болот <i>magno pinosum</i>				Тип болот <i>paupo pinosum</i>		
	Лактинское болото	Шуваловское болото	Псковский район	Новгородский район	Лужский район Ленинградской обл.	Лакта под Ленинградом	Псковский район
10—20	315	258	364	273	420	404	450
21—30	398	240	398	—	475	520	563
31—40	434	340	480	313	665	704	690
41—50	—	355	420	319	630	—	765
51—60	—	450	477	407	715	—	—
61—70	—	461	516	442	—	—	—
71—80	—	—	530	—	—	—	—
81—96	—	—	565	—	—	—	—

Очень точное определение нарастания мха было произведено Т. Л. Ефимовой в 1926 г. под самым Ленинградом, на Сосновском торфянике площадью 1,7 км². Болото сфагновое с сосной и пушицей; по окраинам и на пожарищах—сосна и береза. Глубина торфа до 3 м, разложение по толще залежи слабое, среднее

¹ Отмечено было Д. А. Бегаком в статье 1927 г.

² Статья М. М. Юрьева. О росте сфагновых болот. Известия Мелиорационного ин-та. Июль 1925.

и сильное. В результате этой работы нарастание мохового покрова по пятилетним периодам определено в следующих размерах (табл. 59).

Таблица 59

Продолжительность нарастания годы	Высота мохового покрова см	Число сосен	Продолжительность нарастания годы	Высота мохового покрова см	Число сосен
10	17,1	28	65	35,1	8
15	20,1	41	70	41,3	3
20	24,2	79	75	33,0	1
25	25,8	71	80	39,2	3
30	31,2	49	85	31,4	2
35	31,5	55	90	31,5	1
40	32,0	36	95	34,2	2
45	33,3	33	100	39,0	1
50	33,5	13	105	35,7	2
55	36,3	18	110	37,4	3
60	37,2	8			
				Всего .	473

По методу взятия сосен для 200 точек разного типа болот Финляндии Saarinen определена высота нарастания сфагнового покрова за 23 года равной 24 см.¹

Наглядное представление об увеличении толщи накопления сфагнума, переходящего в торф, дает график нарастания на Пыщачском болоте БССР, где по горизонтали отложено время накопления, а по вертикали—высоты накопления торфяника (рис. 20). Плавная кривая, охватывающая высоты накопления, как видно на графике, имеет вид параболы.

Такие графики дают возможность сделать очень интересное предположение о высотах накопления мха и торфа за периоды более продолжительные, чем то возможно непосредственно наблюдать. Например, продолжив пунктирно направление ветви параболы за пределы непосредственно наблюдаемых сроков, т. е. производя экстраполяцию, можно по графику отсчитать, что за 200 лет на Пыщачском болоте нарастание сфагнума и торфа предположительно равно 690 мм.

3. Метод повторного нивелирования. Определение нарастания торфяника в высоту основывается на нивелировке поверхности сфагнового болота через определенные промежутки времени между надежными реперами. Такой случай представился А. Д. Брудастову в Петровско-Шатурской даче Ивановской области; по линии нивелировки 1875 г. им была произведена нивелировка в 1914 г., выяснившая, что за истекшие 40 лет поверхность моховика поднялась в среднем на 400 мм.

4. Метод случайных находок. Определение нарастания торфяника в высоту основывается на раскопках в торфяном грунте.

5. Метод „пыльцы“. Определение продолжительности нарастания торфяника производится по находимой в торфе пыльце цветковых растений, преимущественно деревьев. В слоях торфа хорошо сохраняется неопределенно продолжительное время пыльца цветущих на самом болоте и по периферии растений, оседающая на поверхности болота и погребаемая здесь последующим нарастанием сфагнума. После периода таяния ледника происходило несколько смен климатов, соответственно которым

¹ Saarinen. Ueber des Höhenwachstum der Oberflächentorfes auf Mooren. Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu. Helsinki, 1934, № 19.

менялась и растительность. Поэтому по роду древесной пыльцы, сохранившейся в данном горизонте торфяника, оказывается возможным установить примерно возраст данного горизонта торфа. Пыльца в торфе настолько хорошо сохраняется, что под увеличением различаются все виды материнских древесных пород, отлагавших пыльцу за тысячелетия до нашего времени.

6. Метод „пограничного горизонта“. Как уже было указано, отложения сфагнового торфа имеют два яруса: 1) нижний ярус из старого разложившегося торфа, образовавшегося в теплый и влажный период времени, бывший предположительно от 5000 до 3000 лет до нашей эры (атлантический период); 2) верхний ярус молодого слабо разложившегося сфагнового торфа, образовавшегося во влажный и холодный субатлантический период, начавшийся за несколько столетий до нашей эры.¹ Между атлантическим и субатлантическим влажными периодами, в течение которых торфообразование шло успешно, был период сухого континентального кли-

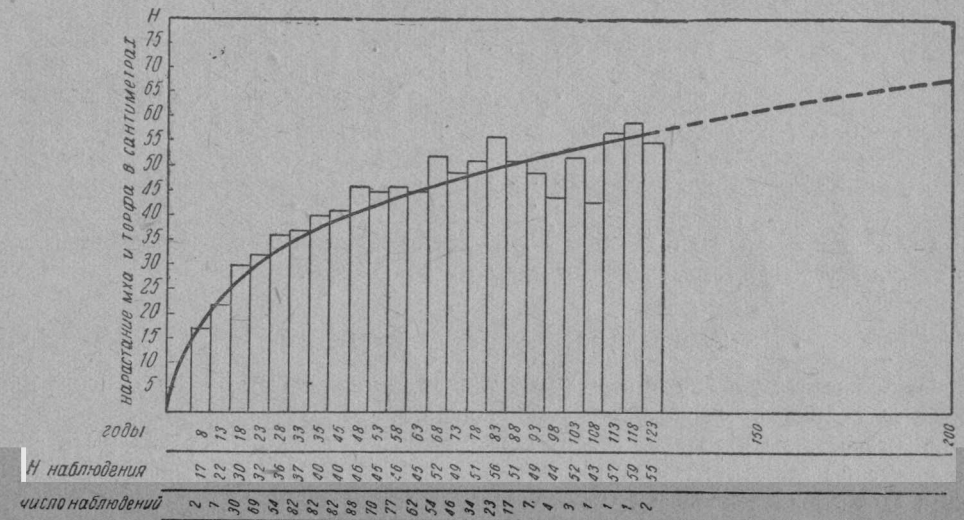


Рис. 20. График нарастания мха и торфа на Пыщачском болоте.

мата (субареальный), в течение которого процесс накопления торфа прекращался, и взамен толщи торфа за это время отложился узкий темный прослой органического вещества, называемый „пограничным горизонтом“. Период континентального климата определен предположительно за 3000—5000 лет до нашей эры.

Если принять,² что со времени начала влажного и холодного субареального периода прошло 2500 лет, то, используя данные Д. А. Герасимова о глубине залегания пограничного горизонта в различных торфяниках, получим для них следующие величины среднегодового прироста:

Галицкий мох	0,8—1,0 мм
Носовское болото, б. Калужской губ.	1,0 "
Агафинское	0,4—0,5 "
Зубовское	0,4—0,5 "

7. Метод использования следов пожаров. В двух государственных лесах Финляндии зарегистрированы бывшие в 1852 г. пожары. Ныне слой угля и золы покрыт на этих местах сфагнумом и торфом следующей толщины:³ 1) в лесу

¹ Доктуровский. Из истории образования и развития торфяников. Торфяное дело. № 2, 1924.

² Бегак. К вопросу о приросте верховых торфяников. Торфяное дело. № 9, 1926.

³ Lukkala. Журнал „Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu“ № 19, 1934.

Кикко по речке Карстуларосло 10—20 см у краев и 50 см в середине при площади болота 5,2 га; 2) в лесу Vahanke-Mustariga по той же речке Карстула толщина слабо разложившегося торфа над золою 30—40 см при площади болота 52 га.

Сводные величины нарастания сфагновых болот в высоту могут быть выражены следующими цифрами:

Район Ленинграда (исследования Юрьева):

за 50 лет на болотах с сосной 40 см
 „ 50 „ „ с мелкими сосенками 75 „

В Белоруссии (исследования Дубаха):

за 20 лет 20 см*
 „ 50 „ 40 „
 „ 100 „ 50 „

Галицкий мох (исследования Герасимова), между Москвой и Калинин:

за 20 лет 27 см
 „ 50 „ 28 „
 „ 100 „ 35 „

В Финляндии (исследования Сааринена и Луккала):

за 23 года 24 см
 „ 80 лет 40 „

В СССР и в Финляндии за 3000—5000 лет со времени образования в сфагновых болотах пограничного горизонта нарастало торфа 1—5 м.

Разрастание болот по периферии

Еще большее значение имеет разрастание сфагнового болота по периферии, ведущее за собою заболачивание новых площадей.

Ход разрастания болот в стороны возможно определять по годичным отложениям древесины застигнутых болотом деревьев, находящихся в различных расстояниях от края заболоченной площади. На окраине болота, по линии от периферии к центру, выбираются две сосны на расстоянии 5—10 м одна от другой (рис. 21). Сосны

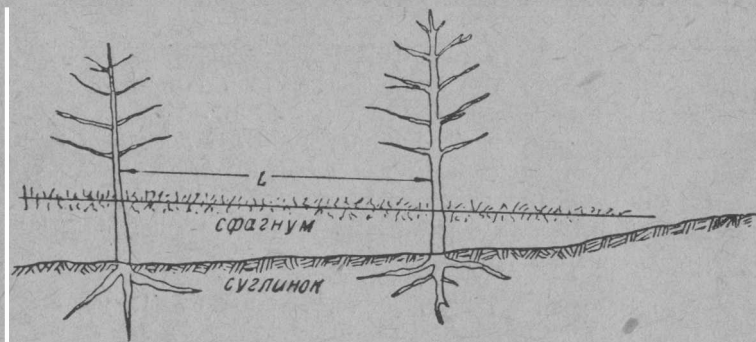


Рис. 21.

спиливаются и по величине годичных отложений древесины на каждой из них определяется число лет угнетенного роста; если, например, сосна ближе к периферии болота имеет 9 лет угнетенного роста, а сосна дальше от периферии имеет 15 лет угнетенного роста, то отсюда ясно, что расстояние между этими соснами заболотилось в течение $15 - 9 = 6$ лет. Необходимо иметь несколько пар наблюдений.

Массового фактического материала по величине годичного разрастания болот по СССР не имеется.

Разболачивание земель

Если процесс заболачивания земель вызывается столь многими природными причинами вплоть до естественного процесса заболачивания лугов, а также деятельностью человека, вплоть до вырубки леса, то неизбежно возникает вопрос: почему же за столь продолжительное время развития хозяйственной деятельности человека и тем более действия естественного процесса заболачивания, не обратились все луга и леса зоны избыточного увлажнения в болота?

Очевидно есть и обратный процесс—разболачивание. В этом отношении весьма ценны исследования, проведенные на лесных площадях в Лисинском учебном леспромхозе.¹ Для исследования выбирались места возобновившегося после вырубки леса в возрасте от 5 до 60 лет, расположенные рядом на ровном месте и в одинаковых почвенных условиях рельефа с крупным лесом. Оказалось, что площадки после 15 лет со времени вырубки, покрытые молодой возобновившейся елью и сосной, обнаруживали ясные признаки заболачивания: увеличилось содержание влаги в почве, переменялся растительный покров—вместо бывшей ранее брусники и блестящих мхов появился мох—кукушкин лен и сфагнум.

При исследовании площадей, вырубленных 30 лет назад и вновь покрывшихся лесом, влажность грунта оказалась уже одинаковой со старым лесом. А при исследовании 60-летней лесосеки, покрывшейся средневозрастной елью, осиною и березой, оказалось, что влажность грунта значительно ниже, чем на молодых лесосеках, и травяной покров характеризует нормальный рост леса (кислица, черника). Таким образом, возобновившийся лес, достигая среднего возраста, не только останавливает начавшийся процесс заболачивания, но и восстанавливает то положение, которое было до вырубки.

Происходящее сначала после вырубки леса заболачивание лесосеки постепенно, по мере роста молодняка, если поверхность не успела покрыться сфагнумом, прекращается, и затем происходит обратный процесс—разболачивание.

Следует искать аналогичные процессы и на луговых пространствах.

Химический состав торфяных залежей

По химическому составу органической массы торф занимает промежуточное положение между древесиной и углем, что видно из табл. 60.

Таблица 60

Состав	Воды %	Зола от сух. вещ. %	Состав органического вещества в процентах			
			С	Н	О + N	S
Дерево	16	1,5	49,5	6,3	44,2	—
Торф возд.-сухой . .	20	10	58	6	36	—
Бурый уголь	20	10	68	5,5	25,5	1,0
Каменный уголь . .	5—7	4—8	83,2	5,1	10,7	1,0
Антрацит	4,2	2,0	96,0	1,3	0,9	1,2

Поэтому химия рассматривает торф как уголь, находящийся еще в периоде своего образования из растительных остатков.

Приведенный химический состав торфа, однако, значительно варьирует в зависимости от растений, образовавших торф, и в зависимости от степени разложения торфа.

Обычно в курсах болотоведения приводится таблица анализов сухого вещества торфа различного происхождения, составленная на основании исследований Цейлера

¹ Исследования В. А. Буренкова и А. Л. Кашеева.

и Вилька в Германии. В сокращенном виде эта таблица дает следующую зольность торфов в порядке их образования:

Тростниковый торф	10—15%
Осоковый	3,5—6%
Гипновый	3,3—8%
Древесный	1,6—3,5%
Пушицевый	0,1—0,6%
Сфагновый	0,6—13,9%
Вересковый	7—0%

Зольность торфяной залежи обуславливается не только растениями торфообразователями, но еще и поступлением зольных веществ со стороны; болота, затопляемые паводковыми водами, обогащаются золою вследствие оседания на них приносимого водою ила; заметным источником увеличения зольности являются наносы ветром пыли и мелкого песка.

Для разработки торфа на топливо желательно минимальное содержание золы при максимальной степени разложения торфа; зольность до 10% является вполне приемлемой для выработки торфа на топливо.

Наоборот, для использования болота под сельскохозяйственные культуры желательна наибольшая зольность его, причем в этом случае важно содержание азота, калия, извести и фосфора.

Анализ торфов Белоруссии¹ показали следующую разницу в содержании питательных веществ для растений в торфах осоковых и сфагновых (в процентах):

	Золы	Азота	Фосфора	Извести	Калия	Кремния	Железа
Травноосоковые торфа .	16,6	3,14	0,24	2,65	0,04	0,21	2,5
Сфагновые торфа . . .	6,8	1,32	0,26	0,67	0,06	0,14	0,6

Принимая вес сухого вещества 1 м³ свежего травноосокового торфа равным 250 кг, а сфагнового—90 кг, вычисляем, что в 1 м³ травяного торфа минеральных веществ больше, чем в том же объеме сфагнового торфа в следующее число раз:

Извести в 11,1 раза

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ БОЛОТ

Замерзание и оттаивание

Теплопроводность торфа меньше, чем теплопроводность какого-либо другого грунта; поэтому просохшее с осени болото промерзает на меньшую глубину по сравнению с минеральным грунтом прилегающих полей. По той же причине и оттаивание замерзшего болота происходит медленнее оттаивания минеральных грунтов; весной на полях производится предпосевная обработка, когда торфяное болото еще не протаяло. Насыщение торфяного грунта водою увеличивает теплопроводность его, и потому насыщенное водою болото промерзает глубже, но все же, как показывают наблюдения, не столь глубоко, как минеральный грунт.

Метод определения замерзания элементарен; по ходовой линии, через каждые 10 м, железной штангой производится удар, ясно показывающий наличие или отсутствие замерзания; отсюда выводится процент площади замерзания. Но определение глубины промерзания не имеет установленного метода и в приводимых ниже данных оно производилось способом пробивания мерзлого слоя пешней.

Наилучший материал по промерзанию и оттаиванию торфяного болота дала Новгородская болотная опытная станция. Болото типа переходного осушено и культивируется, глубина торфа—1 м, осушено в 1918 г., период наблюдений 1924—1930 гг.

Глубины замерзшего торфяного (над чертой) и глинистого (под чертой) грунта на Новгородской болотной станции (в сантиметрах) приведены в табл. 61.

Из табл. 61 можно видеть следующее:

1. Начало промерзания торфяного и глинистого грунта происходит одновременно, с большими колебаниями срока в отдельные годы. За период 1924—1930 гг. самый

Таблица 61

Максимум глубины промерза- ния см	Май			Апрель			Март			Февраль			Январь			Декабрь				
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III		
25 37	0 0	0 0	0 0	0 0	0 10	0 26	8 20	23 30	25 37	18 22	9 25	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
40 56	0 0	0 0	0 0	7 9	31 38	17 26	40 39	42 32	35 39	31 40	36 30	21 44	15 45	10 38	0 0	0 0	0 0	10 38	10 38	10 38
29 33	6 0	9 0	6 0	12 0	21 14	18 0	24 23	27 30	29 29	25 32	20 31	17 29	15 26	9 21	7 14	8 19	7 14	9 21	9 21	9 21
19 20	7 0	8 0	7 0	10 0	12 0	11 0	14 10	14 14	14 14	15 14	19 18	18 18	15 17	15 17	10 10	12 15	10 10	15 17	15 17	15 17
30 48	0 0	6 0	0 0	18 0	27 40	23 5	30 48	30 45	30 15	30 48	30 45	22 29	20 28	18 13	8 8	11 10	8 8	18 13	18 13	18 13
25 27	0 0	0 0	0 0	2 0	8 7	3 0	22 17	22 27	25 23	24 23	19 25	15 15	13 12	10 16	0 0	0 0	0 0	24 23	24 23	24 23
	2 0	4 0	2 0	8 1	17 17	13 5	23 25	28 30	28 31	24 30	22 29	16 24	13 21	13 17	5 5	6 7	5 5	16 17	16 17	16 17

Глубинный температурный режим

Глубинная температура торфяного болота регулярно наблюдалась на Редькинской торфяной опытной станции, на Оршинской и Раменской гидрологических станциях. Результаты Редькинской станции приведены в книге В. Г. Горячкина¹ в виде сводного графика температур на глубинах 0,4; 0,8 и 1,6 м. Согласно этому графику за 1923—1926 гг. на глубине 40 см лишь в сезон 1924/25 г. температура приближалась к нулю, в остальные же три года была заметно выше нуля; следовательно, промерзание не достигало глубины 40 см.

На Раменском и Оршинском болотах велись наблюдения над температурой на глубинах 10, 25, 50, 100 и 200 см помощью почвенных термометров, опускавшихся в эбонитовые трубки, как это делается согласно общим инструкциям по метеорологическим станциям на минеральных грунтах.

Сроки перехода от положительной температуры к нулевой и ниже (условно—замерзание) и сроки перехода от нулевой температуры к положительной (условно—оттаивание) для Раменского болота переходного типа указаны в табл. 62.

Таблица 62

Сезоны	Замерзание на глубине		Оттаивание на глубине		Продолительн. ледового периода на глубине, сутки	
	10 см	25 см	10 см	25 см	10 см	25 см
1909/10 . .	18/XI	7/I	10/IV	4/IV	137	87
1910/11 . .	1/XI	7/I	4/IV	10/IV	154	93
1911/12 . .	28/XI	21/I	26/III	29/III	119	68
1912/13 . .	24/X	не зам.	21/III	—	148	—
1913/14 . .	24/XII	”	5/III	—	71	—
1914/15 . .	2/XI	записи нет	10/IV	—	159	—
1915/16 . .	28/XI	1/III	29/III	2/IV	121	32
1916/17 . .	7/XII	18/II	20/III	14/IV	102	57
Среднее . .	20/XI		28/III		126	

На глубине 50 см температура ни разу не опускалась до нуля. За все 8 лет наблюдений температура Раменского болота находилась в следующих крайних пределах (табл. 63).

Таблица 63

На глубине	Минимум	Максимум	Ампли- туда
------------	---------	----------	----------------

Сроки замерзания и оттаивания Оршинского сфагнового болота приведены в табл. 64.

Таблица 64

Сезоны	Замерзание на глубине		Оттаивание на глубине		Продолжительн. в сутках ледового периода на глубинах	
	10 см	25 см	10 см	25 см	10 см	25 см
1909/10 . . .	23/XII	не замерзло	31/III	—	97	—
1910/11 . . .	27/XI	" "	21/III	—	113	—
1911/12 . . .	2/XII	25/II	7/III	6/III	94	10
1912/13 . . .	13/I	не замерзло	7/III	—	52	—
1913/14 . . .	24/III	" "	27/III	—	3	—
1914/15 . . .	26/XI	" "	20/IV	—	145	—
1915/16 . . .	29/XI	" "	5/IV	—	128	—
1916/17 . . .	17/XI	" "	22/III	—	125	—
Среднее . . .	20/XII		25/III		95	

За все 8 лет наблюдений температура Оршинского болота находилась в следующих крайних пределах (табл. 65).

Таблица 65

Глубина см	Минимум		Максимум		Амплитуда °С
	температура	дата	температура	дата	
10	-3,6	7/I 1915	+19,9	25/VII 1915	23,5
25	-0,2	26/II 1912	+15,8	4/VII 1911 25/VII 1914 26/VII 1915	16,0
50	+1,1	15/IV 1911	+12,0	16/VIII 1911 29-31/VII 1915	10,9
100	+1,8	15/IV 1911 4/IV-9/V 1917	+11,1	7-9/IX 1913	9,3

Приведенные таблицы температур торфа за 1909/10—1916/17 гг. на разных глубинах Раменского болота переходного типа и Оршинского сфагнового типа весьма показательны. Из них можно видеть следующее:

1. Среднее время перехода температуры с нуля на минус (замерзание) на глубине 10 см от поверхности оказалось на переходном болоте 20 ноября, на сфагновом 20 декабря. Сфагновое болото замерзло на 30 суток позже.

2. Замерзание на глубине 25 см на переходном болоте из 8 лет наблюдений произошло пять раз, на сфагновом же болоте—всего один раз. Промерзания до глубины в 50 см на обоих болотах не происходило.

3. Средний срок перехода температуры через нуль на положительные величины (начало оттаивания) оказался: на переходном болоте—28 марта, на сфагновом болоте—25 марта. Сфагновое болото начинало оттаивать на 3 суток ранее.

4. Продолжительность температуры ниже нуля на глубине 10 см оказалась: в переходном болоте—126 суток; в сфагновом—95 суток. Ледовый период на сфагновом болоте короче на 31 день.

5. Минимальные температуры за все 8 лет наблюдений на различной глубине оказались следующие:

	10 см	25 см	50 см	100 см	200 см
На переходном болоте . . .	-4,6	-2,0	0	+1,3	+3,4
" сфагновом " . . .	-3,6	-0,2	+1,1	+1,8	—

Сфагновое болото на всех глубинах лучше сохраняет свои температуры, зимою оно теплее.

6. Максимальные температуры за 8 лет наблюдений оказались на различной глубине следующие:

	10 см	25 см	50 см	100 см	200 см
На переходном болоте	20,4	16,6	14,4	10,7	7,7
" сфагновом "	19,9	15,8	12,0	11,1	—

Сфагновое болото труднее прогревается в течение лета.

Амплитуда между крайними температурами за 8 лет наблюдений на различной глубине оказалась следующей:

	10 см	25 см	50 см	100 см	200 см
На переходном болоте . . .	25	18,6	14,4	9,4	4,3
" сфагновом " . . .	23,5	16,0	10,9	9,3	—

Сфагновое болото на всех глубинах имеет меньшую амплитуду колебания температур.

Анкетный материал

По срокам замерзания и оттаивания болот имеется обработанный анкетный материал добровольных корреспондентов Государственного Гидрологического института. Анкетные сведения эти мало надежны по целому ряду причин. Во-первых, число возвращавшихся заполненных анкет очень невелико, всего лишь по 60—75 экземпляров за каждую четверть года. Во-вторых, все явления в жизни болота менее резки, чем на реке или озере, и часто даже трудно уловимы, что как раз относится к глубине замерзания и времени оттаивания. Наконец, жизнь болота обычно менее отражается на обиходе населения по сравнению с рекою и озером. Поэтому на приводимые ниже результаты обработки анкет температурного режима следует смотреть частично как на обывательское представление о времени наступления той или иной температурной фазы на болоте.

Время замерзания болот по анкетным материалам наступало в следующие декады месяцев (табл. 66):

Таблица 66

Б а с с е й н ы	1928 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.
Балтийский	Ноябрь III—декабрь III	Ноябрь II—декабрь II	Ноябрь II—декабрь I	Декабрь II—январь II
Беломорский	Ноябрь I—III	Ноябрь II—декабрь II	Октябрь II—ноябрь III	Ноябрь I—II
Верхний и средний Днепр .	—	Ноябрь II—декабрь I	Ноябрь II—декабрь II	Декабрь II—январь I
Верхняя и средняя Волга .	—	Ноябрь II и III	Ноябрь I и II	Ноябрь II—декабрь III

В 1932 г. замерзание болота по всем бассейнам оказалось наиболее поздним, перейдя местами на январь 1933 г. Замерзание суходолов показывалось на 50—70% случаев ранее и в 20—10% одновременно с замерзанием болот; недостающие до 100 проценты приходятся на анкеты, или вовсе не показавшие замерзания или показавшие его для болот наступившим ранее, чем на суходоле.

Во многих случаях отмечается временное зимнее оттаивание болот, а в бассейне Днепра отмечаются случаи, что болота, оттаивая непосредственно после выпадения снега, остаются в незамерзшем состоянии до весны.

Оттаивание верхового болота под снегом отмечено даже в Кировске (б. Хибинь), корреспондентом, заслуживающим доверия, а также в бассейне р. Вычегды.

Таяние снега на болоте по материалам корреспондентов за 1929—1933 гг. (пять лет) оканчивалось на 6—8 дней позже по сравнению с суходолом, причем стоки стаявания были следующие (по декадам).¹

Таблица 67

Бассейны	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.
Балтийский	Май I	Март II, III	Апрель III	Апрель II	Март III
Беломорский	Май I	Май I	Апрель III	Апрель III	Апрель III— май I
Верхний и средний Днепр.	—	Март I	Апрель II	Апрель I	Март II
Верхняя и средняя Волга .	—	Апрель II, III	Апрель II, III	Апрель II	Апрель I

При группировке болот по типам оказалось, что на переходных и верховых типах болот таяние было продолжительнее, чем на низинных типах.

Размерзание болот по анкетным материалам заканчивалось в следующие декады (табл. 68):

Таблица 68

Бассейны	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.
Балтийский	—	—	—	Апрель III, — май I, II и III	Апрель I, III май I
Беломорский	Май I, II	Май I, II	Апрель II, III май I	Апрель III, — май I и II	Май I и III
Верхний и средний Днепр.	—	Март III— апрель I и II	Апрель III	Апрель II, III	Март III, — апрель I, II
Верхняя и средняя Волга .	—	Апрель II	Апрель III	Апрель III, — май I и II	Апрель III, май I

Приведенные весьма пестрые сроки оттаивания болот следует рассматривать не столько как достоверный материал непосредственных наблюдений, а скорее как бытовое представление корреспондентов об этом. При грубом обобщении получаем, что оттаивание болот заканчивалось в следующие периоды: по Беломорскому бассейну с конца апреля по конец мая; по Верхнему и Среднему Днепру—со середины марта до конца апреля; по Верхней и Средней Волге—с начала до конца апреля.

¹ Обработка анкетного материала произведена преимущественно сотрудником Болотного отдела Н. В. Борисовым.

Таблица 69

Годы	Раменское болото			Оршинское болото		
	Дата	Минимальная температура °С		Дата	Минимальная температура °С	
		поверхн. болота	будка		поверхн. болота	будка
1910	26/V	— 5,0	— 3,4			
	22/VI	— 5,1	— 1,7			
	19/VII	— 1,6	+ 4,5			
	14/VIII	— 3,2	+ 0,6			
1911	20/V	—11,6	— 5,0	20/V	— 4,8°	— 3,0°
	12/VI	— 4,8	+ 2,2	2/VI	— 1,0	+ 1,0
	19/VII	— 4,9	+ 4,2	—	не было	
	21/VIII	— 5,0	+ 4,0	24/VIII	— 3,0	+ 5,8
1912	10/V	— 4,9	— 3,4	4/V	—11,5	— 4,8
	VI	не было		1/VI	— 1,5	+ 5,5
	27/VII	— 1,4	0,0	3/VII	— 2,5	+ 4,0
	27/VIII	— 2,0	+ 2,7	31/VIII	— 2,0	+ 3,7
1913	3/V	—15,3	— 9,6	2/V	—11,0	— 9,2
	VI	не было		24/VI	— 3,5	+ 0,9
	29/VII	— 6,9	+ 6,6	VII	— 2,6	+ 9,5
	15/VIII	— 3,5	+ 3,1	15/VIII	— 0,1	+11,5
1914	30/V	—11,1	— 2,5	1/V	— 7,0	— 3,5
	11/VI	—10,0	— 3,1	11/VI	— 4,0	— 0,3
	20/VII	— 4,6	— 0,6	20/VII	— 3,5	+ 3,4
	20/VIII	— 3,8	6,1	21/VIII	— 1,8	+ 2,5
1915		не было		1/V	— 4,5	— 3,3
	29/VI	— 4,5	+ 0,5	20/VI	— 1,3	+ 1,3
	8/VII	— 1,5	+ 7,0	VII	не было	
1916	9/VIII	— 5,5	— 0,1	8/VIII	— 3,0	+ 6,1
	3/V	— 3,9	+ 2,2	26/V	— 3,0	— 0,5
	1/VI	— 1,6	— 3,1	1/VI	— 4,7	— 3,3
	29/VII	— 4,5	— 2,0	29/VII	— 1,0	+ 1,0
1917	12/VIII	— 2,0	+ 2,5	12/VIII	— 0,5	+ 2,6
	V	не было		12/V	— 4,8	— 0,7
	14/VI	— 2,2	+ 1,5			
	9/VII	— 0,5	+12,4			
31/VIII	— 1,4	+ 7,5				

Поверхностный температурный режим

В отчете по работам Новгородской опытной станции указывается, что на поверхности торфяного болота температура опускается ниже нуля в отдельные дни на протяжении всего лета, даже в июне, июле и августе, на суходоле же в районе станции за июнь—август температура не бывает ниже нуля.

Точно так же и на глубинах в торфяном грунте Новгородской станции за летние месяцы 1923—1927 гг. температура оказалась ниже, чем в суглинистой почве на следующие величины: на глубине 10 см на 0°,8; на глубине 20 см 2°,8.

Все же разница сказывается не столь большой, как это иногда представляется, и решающее влияние в отношении неудачи некоторых культур на болоте имеет не среднее понижение температуры на 0°,8, а отдельные заморозки.

Наличие на болоте ночных заморозков в течение всего лета показывают и восьмилетние наблюдения метеорологических станций на Раменском болоте пере-

Таблица 70

Годы	Раменское болото			Оршинское болото		
	Дата	Максимальная температура °С		Дата	Максимальная температура °С	
		поверхн. болота	будка		поверхн. болота	будка
1909	10/VII	35	18,3	—	—	—
1910	15/VI	40	29,3	—	—	—
	4/VII	40,6	26,5	—	—	—
1911	27/VI	40,4	31,0	26/VI	36,0°	27,5°
	3/VII	40,4	30,3	3/VII	36,0	30,0
1912	14/VI	35,5	26,6	14/VI	44,0	26,0
	16/VII	34,6	26,4	17/VIII	40,0	29,0
1913	9/VII	42,3	21,1	29/VI	40,5	26,8
	3/VIII	42,1	27,7	26/VII	46,5	25,0
1914	27/VI	51,1	27,7	26/VI	53,0	30,5
	10/VII	60,5	28,5	23/VII	50,0	28,1
1915	25/VI	42,8	25,0	23/VI	38,0	23,8
	25/VII	43,1	28,9	29/VII	38,0	25,8
1916	10/VI	43,5	29,2	30/VI	37,5	25,8
	3/VII	43,4	24,1	17/VII	38,0	26,5
1917	27/VI	42,0	27,9	23/VI	45,5	32,5
	2/VII	39,7	28,0	2/VII	39,0	28,3
	30/VIII	48,0	28,5			

ходного типа и на Оршинском болоте сфагнового типа, в обоих случаях не закультивированных.¹

Минимальные температуры на поверхности земли (болота) в летние месяцы в сопоставлении с минимальными температурами за те же дни в метеорологической будке приведены в табл. 69 (стр. 111).

Приведенные за каждый летний месяц минимумы температур на поверхности болот показывают, что на очень слабо осушенных болотах, занимающих десятки тысяч га в районе Москва—Калинин, летние заморозки у поверхности бывают во все летние месяцы, и притом не в виде отдельных случаев, а с полной обеспеченностью за каждый месяц. То же наблюдается и на территории Новгородской болотной станции.

В табл. 70 приведены показания тех же Раменской и Оршинской метеорологических станций по максимальным температурам на поверхности болот за июнь и июль.

Приведенные цифры указывают на очень большие максимумы температуры на поверхности болот, причем разницы между Раменским болотом переходного типа и Оршинским сфагновым болотом в поверхностных максимальных температурах не оказывается. Наивысшая температура в 60°,5 в июле 1914 г. на Раменском болоте может казаться ошибочно отсчитанной, но в тот же день на Оршинском болоте замерен максимум в 50°,0, а в июне 53°, что дает основание верить этим величинам.

Сопоставив июньские и июльские минимумы и максимумы, получаем следующие амплитуды температур на поверхности болот в период 1910—1917 гг.

	Раменское болото	Оршинское болото
в июне	от -10 до +51,1°	от -4,7 до +53,0
в июле	„ -6,9 „ +60,5	„ -3,5 „ +50,0

Приведенные амплитуды летних температур на поверхности болот являются неожиданно большими как в сторону минуса (-10°), так и в сторону плюса (+60,5°).

¹ Обработано болотным отделом Гос. Гидрологического института.

СВОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ГИДРОЛОГИИ БОЛОТ

Сфагновое болото в насыщенном состоянии содержит воды 92—94%, травяное болото—89—91%; помощью интенсивного осушения содержание воды может быть снижено в крайних случаях до 87—89% в сфагновых торфяниках и до 85—87% в травяных. Дальнейшее снижение влаги в торфянике может происходить лишь под действием испарения. Поэтому болото может рассматриваться как водоем, вода из которого не может быть удалена, или как суша, содержащая свыше 90% воды.

Растущие на сфагновом болоте сосны и вся полукустарниковая растительность имеют ясно выраженный ксерофитный характер, отмеченный ботаниками и болото-ведами и выражающийся у сосны укороченным вегетационным периодом, а у полукустарников—приспособлениями для уменьшения испарения через листву (восковые налеты, волоски, кожистость листьев), свойственными растениям засушливых условий местообитания.

Многочисленные опыты по испарению с торфяных монолитов, помещавшихся в приборы и лизиметры, ясно показывают, что больше всего испаряет культурная травяная растительность, меньше испаряют посевы зерновых, еще меньше—сфагновая поверхность; меньше всего испаряют поверхности парового поля и песок. При этом существенно важно то, что испарение с культивируемых площадей больше, чем с поверхности сфагнового болота и с поверхностью свободной воды.

Испарение со сфагнового покрова в избыточно увлажненной зоне меньше количества выпадающих атмосферных осадков, следствием чего является неизбежность стока со сфагновых болот накапливающегося избытка влаги, даже при отсутствии питания болота сторонними водами.

Грунтовые воды на болоте подвержены сезонным колебаниям, связанным с общим годовым ходом элементов климата, и случайным колебаниям, вызываемым выпадением отдельных дождей или наступлением жарких бездождных периодов. Сезонные колебания должны быть изучены в вероятных сроках наступления и высоты их, а случайные колебания могут быть изучены в количественной связи с выпадающими дождями, с температурой воздуха и другими действующими факторами.

Сводка имеющихся материалов наблюдений показывает следующие наиболее часто повторяющиеся сроки наступления сезонных стояний уровня грунтовой воды: 1) весенний максимум грунтовых вод наиболее часто наступает во второй, третьей декаде апреля и в первой декаде мая; 2) летний минимум чаще всего наступает в период первой и второй декад августа; 3) осенний максимум чаще всего наступает в первую и вторую декады ноября и 4) зимний минимум—в феврале.

В периоды бездождия происходит снижение грунтовой воды на болотах вследствие испарения и стока: а) на сильно осушенных болотах в среднем на 15,1 мм за сутки, б) на слабо осушенных—9,3 мм.

Каждый миллиметр выпадающего на торфяное болото дождя вызывает повышение грунтовой воды в смотровых скважинах в среднем на 4—6 мм, причем это повышение начинается вслед за выпадением дождя и заканчивается, повидимому, не дольше как за сутки.

Влияние высоты выпавшего дождя на относительную величину поднятия грунтовой воды, соответствующую 1 мм дождя, остается невыясненным. Чем глубже перед выпадением осадков стоит грунтовая вода от поверхности, тем большее повышение ее приходится на каждый миллиметр выпавшего дождя; такое соотношение является неожиданным выводом из обработанных материалов наблюдения.

Слабо разложившийся сфагновый торф имеет коэффициент фильтрации около 0,002 см/сек., средне разложившийся—0,0008 см/сек., что дает практически нулевую скорость сплошного движения воды в однородном торфяном грунте, как и в глине. Движение воды в торфяной залежи происходит, по видимому, по узким более проницаемым прослойкам залежи, по отдельным водоносным жилам и по подстилающему торф песчаному грунту, что и создает возможность непосредственного снижения грунтовой воды на болоте помощью водоотводных канав.

Наблюдения над стоком, проведенные в 1933 г. Торфяной опытной станцией с элементарных площадок Галицкого сфагнового болота, дали наибольший секундный модуль весеннего стока 0,76 л с 1 га и модуль дождевого поверхностного и грунтового стока 1,4—2,46 л с 1 га. Суточная высота испарения за июль—август составляла около 2,6 мм воды. Наблюдения стока с минеральных элементарных площадок, проведенные в 1923—1926 гг. под Москвою, показали наибольший модуль весеннего стока 8,2 л; такой же сток 8 л с 1 га дали весенние наблюдения с задерненного луга у г. Воронежа.

Наблюденный за 1909—1910 гг. максимальный сток с 1376 га Раменского переходного болота равен 2,21 л с 1 га, а с 38 220 га Оршинского сфагнового болота равен 1,9 л с 1 га, что указывает на неожиданно большие весенние модули стока с крупных болотных массивов.

Средние летние модули стока с заболоченных водосборов Московской области могут быть определены величиною 0,025 л, Белоруссии—0,035 л, Ленинградской—0,055 л с 1 га.

Реки Ленинградской области с водосборами до 174 000 га указывают, что заболоченность водосбора уменьшает односуточный летний максимальный модуль стока с 0,69 л при малой заболоченности до 0,57 л при большой заболоченности, увеличивает обеспеченный на 50% летний модуль стока с 0,059 л при заболоченности в 0—28% до 0,092 л при заболоченности 66—94%, наконец, лучше обеспечивает также наличие стока в засушливое время. Таким образом болота Ленинградской области умеряют весенний паводок и увеличивают низкий летний сток.

Приведенные выше положения основаны на фактическом материале наблюдений и при дальнейшей проработке еще неиспользованных записей прежнего времени будут подвергнуты уточнению с количественной стороны. На основе приведенных положений возможно затем сделать существенные выводы, которые являются, однако, предположениями, не решающими вопроса в количественном отношении. Эти выводы следующие:

1. Прорезывание торфяных болот водоотводными каналами, вызывая снижение грунтовой воды, уменьшает тем самым испарение с болот и увеличивает суммарный сток с них, пока эти болота остаются покрытыми своей естественной растительностью, испаряющей воды меньше, чем выпадает атмосферных осадков.

2. При последующем вслед за осушением болот обращением их под сельскохозяйственные культуры, особенно под посевы многолетних кормовых трав, а также при выращивании на осушенных болотах леса, испарение с этих поверхностей, как показывают все имеющиеся материалы, значительно увеличится по сравнению с прежним испарением через бывшую ксерофитную растительность, и потому суммарный сток с осушенных и закультивированных бывших болотных площадей уменьшится. Закультивированное болото будет в летнее время нуждаться в подаче к нему воды из реки или за счет грунтового питания.

3. Таким образом массовая культура болот вызовет ухудшение летнего питания рек района культуры.

Этот основной вывод лишь при крайней односторонности может послужить к возражению против мелиорации и культуры болот, как равно странно было бы возражение против распашки земель вообще, хотя распашка имеет ряд отрицательных для питания рек следствий, вплоть до заполнения рек наносами.

Распашка минеральных земель и мелиорация торфяных болот есть наступательное действие человека на природу, неизбежное с ростом населения и дающее в результате грузы для рек. Водный транспорт должен отказаться от созерцательного в основном отношения к рекам как к естественным путям водного сообщения, режим которых не должен быть никем нарушен, а признать необходимость коренного воздействия на них в связи с усиливающимся воздействием техники на все силы природы.

4. Увеличение испарения с закультивированных болот Европейской части СССР, при господстве здесь в летние месяцы западных и северо-западных ветров, увеличит перенос влаги на юго-восток и тем будет содействовать увлажнению засушливых районов.

SUMMARIZED STATEMENTS ON BOG HYDROLOGY

Sphagnum bogs in saturated condition contain about 92—94 per cent of water, grass moors—about 89—91 per cent; by intensive drainage the water content can be reduced no more than to 87—89 per cent in sphagnum peat fields, and to 85—87 per cent in grass peat fields. Further reduction of moisture in peat fields can be effected only by means of evaporation. Therefore a bog can be considered as a water body from which the water can not be removed, or as firm land containing over 90 per cent of water.

Fir trees growing on sphagnum bogs and the whole semibrush bog vegetation have a well defined xerophyte character, pointed out by botanists and by investigators of bogs, and displaying itself on fir-trees by a shortened vegetation period and on semibrush species by peculiarities destined to reduce evaporation from the foliage (wax deposits, hairs, thick-skinned leaves) proper to plants growing in dry regions.

Numerous experiments on evaporation from peat blocks, placed in testers and lysimeters, show clearly that the greatest amount of evaporation is given by fodder-grasses and herbs smaller amounts—by crops, still smaller by sphagnum surface, and the smallest amounts by ploughed land and sand. It is to be noted, however, that evaporation from cultivated areas is larger than that from sphagnum bogs and free water surfaces.

Evaporation from a sphagnum cover in excessively wet areas is less than the amount of precipitation, in consequence of which the run-off of waste water from sphagnum bogs becomes inevitable even when the bog is not fed by other water sources.

Ground water in bogs is subject to seasonal variation, connected with the annual course of climatic elements, and to occasional variation promoted by rainfall or by hot rainless weather. Seasonal variations must be studied as to the probable terms of their occurrence and their depth, and the occasional variations can be investigated as to their quantitative relation with rainfall, air temperature and other factors.

The available records show the most frequent terms of seasonal water-table variations as follows: 1) spring maximum mostly in the second or third decade of May; 2) summer minimum—in the first or second decade of August, 3) fall maximum, as mostly observed, in the first and second decade of November; and 4) winter minimum generally in February.

Each millimeter of rain falling on the peat bog causes an average rise of ground water in pit holes about 4—6 mm, the rise beginning after the rainfall and ending, seemingly, not later than in 24 hours.

The influence of the rain depth on the relative value of ground water rise corresponding to one millimeter of rain, is still unexplained, their relation being not determined. The distance of the water-table from the ground-surface previous to the rainfall is very important, because the deeper the water-table—the greater the rise to be expected from each millimeter of rain; this relation can be considered as an unexpected conclusion deduced from the observation records.

The percolation coefficient for slightly decayed sphagnum peat is about 0,002 cm per second; that of well decayed—0,0008 cm per second, which practically reduces the velocity of continuous water movement in homogenous peat ground to 0, as in clay ground. The water seems to move in peat fields along narrow layers of higher perme-

ability, separate veins of water and the underlying sand ground, which allows the direct lowering of the bog water-table by means of draining ditches.

Run-off records collected in 1933 by the Peat Experimental Station on their experimental areas in the sphagnum bog Galitzky gave as a maximum module of spring run-off 0,76 liter per ha per second and as a rain surface and ground run-off module 1,4—2,46 liter per ha. The amount of diurnal evaporation reached during June—August is about 2,6 mm. Observations of run-off on mineral grounds carried out in 1923—1926 near Moscow, showed as a maximum module of spring run-off 8,2 liters; the same run-off—8 liters per ha—was observed in spring from a sodded meadow near the town Voronej.

The maximum run-off observed in 1909—1911 from 1,376 ha of the intermediary bog Ramensky is 2,21 liters per ha and that from 38 220 ha of the sphagnum bog Orshinsky comports 1,9 liter per ha; these figures show unexpectedly great run-off modules for large bogs.

The mean summer run-off modules in boggy areas in the Moscow district can be determined by 0,025 liter per ha, in White-Russia by 0,035 liter per ha, in the Leningrad district by 0,55 liter per ha.

The streams of the Leningrad district, having a general intake areas up to 174 000 ha, show that on boggy areas the diurnal summer maximum run-off module decreases from 0,69 liter (on slightly boggy grounds) to 0,57 liter (on strongly boggy grounds); the summer run-off module, which is guaranteed only to 50 per cent, increases from 0,059 liter (area containing 0—28 per cent of bogs) to 0,092 liter (area containing 66—94 per cent of bogs), and the run-off is maintained in dry seasons. Thus, the bogs of the Leningrad district decrease the spring flood and increase the low summer run-off.

The above statements are based on practical observation data and the further study of more ancient records will precise them as to their quantitative side. These statements permit to draw very important conclusions, which may be considered as presumptions, but do not solve the question as to the quantitative side. These conclusions are:

1. Draining ditches being cut in peat bogs lower the water-table and diminish thereby the evaporation from bogs, and increase the total run-off from them until these bogs are covered by their natural vegetation, which evaporates less water than reaches the bog in form of precipitation.

2. When the bogs, after being drained are transformed in farm land and especially when they are used for cultivation of forage plants, as well as when they are forested, the evaporation from these surfaces, as shown by all available data, rises considerably compared to the former amount of evaporation from xerophyte vegetation, and therefore the total run-off from drained and cultivated bog areas decreases. A cultivated former bog requires during the summer months artificial water supply from an adjacent river or from ground water storage.

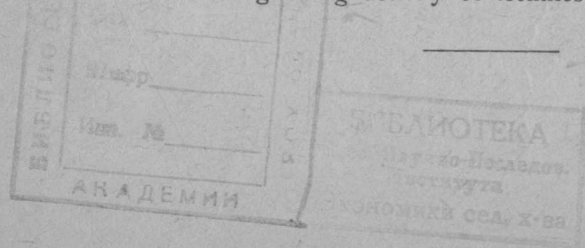
3. Thus the cultivation of bog undertaken on a large scale will diminish the feeding of rivers in summer months.

This main conclusion can serve as an argument against the drainage and cultivation of bogs only from a very limited standpoint, as well as it would be rather ridiculous to argue against the culture of land in general, on account of unfavorable consequences for the feeding of rivers and filling them with silt.

The cultivation of mineral grounds and the drainage of peat bogs can be considered as an act of treading on the laws of nature by men, becoming inevitable with the increase of population and resulting in accumulation of load in streams. The water transport must put an end to its contemplative position when considering rivers as natural water ways, the natural regime of which never could be changed by somebody's interference, and accept the idea of the indispensableness of radical activity in this field in connection with the growing activity of technics affecting all forces of nature.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
<i>Введение. Гидрологическая специфичность объекта</i>	3
<i>Пункты и время наблюдений.</i>	
<i>Глава I. Содержание воды в торфяном болоте</i>	8
<i>Свободная вода. Связанная вода. Влагоемкость торфа. Действие осушения на влажность торфа.</i>	
<i>Глава II. Испарение с болот</i>	23
<i>Специфичность растительности сфагновых болот. Испарение из сосудов. Испарение с монолитов. Заключение.</i>	
<i>Глава III. Сезонные стояния грунтовой воды.</i>	32
<i>Определение уровня грунтовой воды. Факторы, действующие на уровень грунтовой воды. Весенний максимум уровня. Летний минимум. Осенний максимум. Зимний минимум уровня. Методы изучения уровня воды на болотах.</i>	
<i>Глава IV. Падение грунтовой воды в периоды бездождия</i>	46
<i>Сводные величины суточного снижения. Значение температуры воздуха. Значение расстояния грунтовой воды от поверхности.</i>	
<i>Глава V. Повышение грунтовой воды после выпадения атмосферных осадков.</i>	56
<i>Сводные величины относительного поднятия грунтовой воды. Влияние величины выпавшего дождя. Значение исходного положения грунтовой воды</i>	
<i>Глава VI. Движение воды в торфяном грунте болота.</i>	61
<i>Предварительные соображения. Лабораторные исследования. Коэффициент фильтрации. Полевые исследования коэффициента фильтрации. Скорости движения грунтовой воды в торфяной залежи. Заключение.</i>	
<i>Глава VII. Сток с болот.</i>	75
<i>История вопроса. Сток с элементарных площадок. Сток с малых речных водосборов. Сток с лесоболотной площади. Сток с больших речных бассейнов.</i>	
<i>Глава VIII. Образование болот</i>	91
<i>Схема образования болот на водоемах. Образование болот на суходолах. Нарастание болот. Разрастание болот по периферии. Разболачивание земель. Химический состав торфяных залежей.</i>	
<i>Глава IX. Температурный режим болот.</i>	105
<i>Замерзание и оттаивание. Глубинный температурный режим. Анкетный материал. Поверхностный температурный режим.</i>	
<i>Глава X. Сводные положения по гидрологии болот.</i>	114



3 р. 50 к.

V. N. Kozernko

Valeev, O. M.

of fold formation me
On the boundary
the problem of geol

Valeev, B. S. Si
c formations in th
V. F. Mavritsk

ata on the pre-ras
depression

G. P. Korovin
Caucasus

the questions of hyp
A. Rivosh. On U
tic survey
Automagmatic frea

Science
ference on the probl

the ninth session of
nikov, V. V. U
methods of access
ference on the (ter
zoic) platform

Reviews

V. Poyarkov
gularities of the
On the article
«atagenes» by M.
On the discussio
E. V. Posokhov
valuable beginning
geology

СКЛАД ИЗДАНИЙ ЛЕНИНГРАДСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО ОТДЕЛА ЦУЕГМС
Ленинград, ГСП 445, В. О., 2 линия, д. 21, тел. 2-57-29