

05
4209/10
ЧКО СССР

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ СССР
ТРУДЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

СЕРИЯ IV

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ

ВЫПУСК 10

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. Д. ДУБАХ
проф., доктор с.-х. наук

№ 805

Гидрология болот

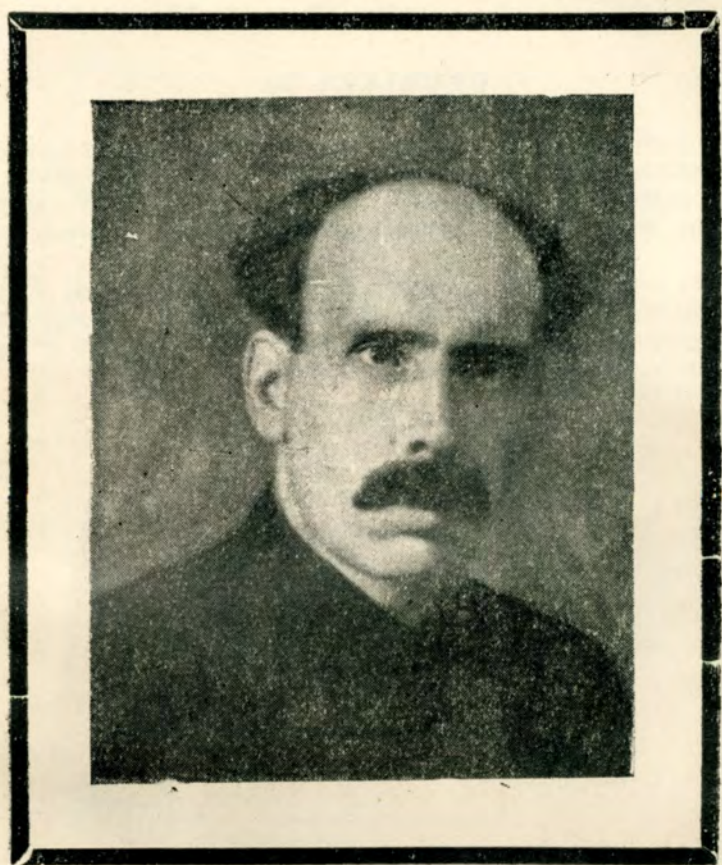
Под редакцией
проф. Л. К. ДАВЫДОВА

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ

Свердловск

1944

М. 1000



ОТ РЕДАКЦИИ

В 1936 г. была опубликована первая в гидрологической литературе сводная работа по гидрологии болот, принадлежащая перу известного исследователя в этой области, ныне покойного, Александра Давыдовича Дубаха, под названием «Очерки по гидрологии болот».

А. Д. Дубах был крупнейшим специалистом в вопросах гидрологии болот. С момента окончания Московского сельскохозяйственного института (1908 г.) и до своей смерти (1942 г.) он непрерывно работал по мелиорации и гидрологии болот, сельскохозяйственных и лесных земель. В его лице удачно сочетались черты инженера-мелиоратора, практика, ученого исследователя и педагога. В течение ряда лет А. Д. Дубах активно участвовал в научно-исследовательских работах Гидрологического института, руководя исследованиями в наименее разработанной области — гидрологии болот.

С начала Отечественной войны он неустанно и не щадя сил до последних дней своей жизни работал на посту исследователя, активно проводя большую работу для Красной Армии. Во всей своей научной деятельности А. Д. Дубах был настойчивым сторонником широкого эксперимента и полевых стационарных исследований.

В упомянутом выше труде А. Д. Дубаха — «Очерки по гидрологии болот» — впервые была осуществлена сводка всех данных по гидрологии болот, известных в то время, и сделан ряд принципиальных обобщений и положений, определяющих в значительной мере дальнейшее направление этих исследований.

В последующие годы в различных организациях накопились новые данные по гидрологии болот. Ряд исследований в этой области проводился под руководством и при непосредственном участии А. Д. Дубаха.

Результаты этих исследований позволили расширить и углубить те положения, которые в свое время были высказаны в упомянутой выше работе, касающиеся режима уровней, замерзания и оттаивания болот и других вопросов.

Итогом тщательного и упорного труда покойного исследователя явилась новая капитальная работа «Гидрология болот», подготовка которой к печати была закончена в 1942 г.

С выходом в свет этого посмертного труда А. Д. Дубаха восполняется существенный пробел в современной гидрологической литературе, и книга будет полезна для всех, кто занимается исследованиями болот.

После преждевременной кончины А. Д. Дубаха Гидрологическим институтом был проведен ряд исследований, главным образом по вопросу о проходимости болот, значительная часть которых явилась развитием идей покойного ученого, подтвердивших правильность ряда положений, которые до этого времени носили характер гипотез. Эти данные, естественно, не получили отражения в печатаемой монографии А. Д. Дубаха.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Болото до последнего времени являлось всесторонне отрицательным природным образованием. Река, озеро и море издревле привлекали человека к своим берегам, давая ему средства существования, передвижения и условия санитарии. Болото же было не только бесплодно для существования человека, но и вредно; оно затрудняло сообщение, содействовало заболеваниям, было недоступно для освоения.

Наиболее полезная сторона болот,— наличие в них огромного запаса тепловой энергии,— получила большое производственное значение лишь в после революционное время, когда на торфяном топливе были основаны мощные электроцентралы [Шатурская имени В. И. Ленина, электропередача им. Классона, Красный Октябрь (Ленинград), Осиновская (БССР) и др.], а также созданы огромные торфоразработки (Назиевские, Синявинские, Ириновская группа и многие другие).

Кроме того, в настоящее время уже осуществлено получение на низинных болотах больших и устойчивых урожаев кормовых трав, зерновых, корнеплодных и технических культур (конопля); слабо разложившийся торф сфагновых болот дает прекрасную подстилку вместо соломы, изоляционные плиты и др.

Торфяное болото стало полезной площадью и вместе с этим началось всестороннее исследование и изучение болот. Наркомат тяжелой промышленности исследует и изучает торфяные болота как запасы топлива (Научно-исследовательский институт торфяной промышленности, Торфяная опытная станция в Редькино); Наркомат земледелия изучает торфяные болота как площади сельскохозяйственного использования (специальные экспедиции, Луговой институт, Институт болотного хозяйства и др.); Всесоюзная Академия наук ведет свои самостоятельные экспедиционные исследования болотных и луговых пространств; Наркомат здравоохранения исследует болота как очаги малярии; Наркомат путей сообщения; изучает болота как среду для продолжения путей сообщения; наконец, болото, как водный объект и как фактор питания рек, изучается Гидрологическим институтом.

Бурный рост гидроэнергетического строительства на реках, развитие водного транспорта, особенно на малых реках, и значительное увеличение, с другой стороны, промышленной эксплуатации болот,— повышают сейчас значение болота как гидрологического объекта. Поэтому, несмотря на чрезвычайную отсталость этой отрасли знания, по сравнению с гидрологией рек и озер, необходимо подвести итоги имеющимся материалам по гидрологии болот и изложить их, хотя бы, в ряде случаев, еще в спорных заключениях.

ГЛАВА I

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛОТ

Гидрологическая специфичность болота

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. Однако, условия движения воды в болоте резко отличаются от условий движения ее 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 содержит 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 гидрологически 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 после того, как она потеряет 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 водоема, путем зарастания его водными и водолюбивыми расте-

ниями, и на месте 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 и материковое происхождение болот в этом случае можно установить лишь путем исследования рельефа дна болота.

На основании вышеизложенного, 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 окружающего района: влажность и температура воздуха, температурный режим болот на разных глубинах, движение воздуха.

2. Биология болота: растительные группировки 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, влагоемкость болот, уровень грунтовой воды в зависимости от сезона и выпадения осадков, движение воды в залежи, внешний сток, испарение.

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

6. География и статистика болот.

7. Мелиорация и эксплуатация болот: осушение болот, сельскохозяйственная культура на болотах, торфодобыwanie.

В настоящей работе изложена лишь гидрология болот; остальные характеристики рассматриваются лишь поскольку они необходимы для понимания гидрологии или влияют на нее.

Определение болота

Употребляющиеся в литературе и в общепитии выражения «болото» и «торфяное болото» не вызывают затруднений в понимании объекта, о котором идет речь. Однако при производстве учета болот СССР (кадастра болот) основным затруднением как раз и является установление, какие именно площади называть болотами и какие не относить к этой категории. Естественно, что резкой грани между болотом и суходолом, а также между болотом и озером провести вообще нельзя, как нельзя провести резкой грани между человеком среднего возраста и стариком; переход осуществляется постепенно.

Поэтому, даже при наиболее четком определении понятия «болото», останется все же некоторая доля произвола — относить ли

значительные площади земной поверхности к болотам или к суходолам. Но затруднение идет глубже; самое определение понятия болота еще не имеет такой четкой формулировки, чтобы оно было признано всеми болотоведами без возражений; грань перехода от суходола к болоту не установлена еще и по существу своих признаков; нет еще твердого отправного пункта, от которого неизбежны затем, как указано выше, отклонения в ту и другую сторону.

Имеющиеся многочисленные определения понятия «болото» могут быть сведены в четыре группы: 1) ботаническую, 2) геологическую, 3) гидрологическую и 4) комплексную.

Чисто ботанические определения болота сводятся к положению, что болото есть часть земной поверхности, покрытая растительными сообществами, господствующее значение в которых имеют водолюбивые растения, требующие для своего развития избыточной влажности почво-грунта. При таком определении наличие торфяного слоя не обязательно для признания избыточно увлажненной площади за болото; болото может иметь слой торфа, но может его и не иметь. Отправным признаком является господство водолюбивых растений, а грунт может и не исследоваться; следовательно, наличие болота определяет в данном случае ботаник.

В геологическом определении болота для признания данной части земной поверхности за болото необходимым является наличие отложений торфа некоторой условной мощности, независимо от состояния этого торфа. Необходимая мощность торфа определяется при этом различно, в зависимости от того или иного эксплуатационного подхода к определению болота. Культуртехники, подходя агрономически, считают необходимым для болота наличие торфа мощностью 30 см в естественном состоянии или 20 см — в осушенном состоянии (определения германского болотоведа Вебера). При этом за торф принимается порода органического происхождения, содержащая не менее 60% органического вещества в абсолютно сухой массе. Указанные величины мощности слоя торфа соответствуют глубине обычной вспашки при культурной обработке болот. Таким образом, грань между болотом и не болотом устанавливается в данном случае условно, применительно к толщине пахотного слоя; это обстоятельство несомненно снижает ценность определения, делая его условно эксплуатационным, но это определение имеет и свое достоинство, а именно — четкость.

Гидрологическое определение болота еще не сформулировано достаточно ясно, но существо его заключается в том, чтобы считать за болото часть земной поверхности, почво-грунт на которой находится всегда или периодически продолжительное время в избыточном, сверх полной влагоемкости, увлажнении. По этому определению пространство, занятое песком, пересыщенным водою сверх его полной влагоемкости, — есть болото, хотя бы здесь не было ни одного растения и ни одного процента органического вещества. Это определение, как ясно видно, в корне отличается от предшествующего геолого-эксплуатационного, и притом, по нашему мнению, в положительную сторону, так как оно более научно и в то же время больше подходит к бытовым понятиям. Чистое песча-

ное пространство, насыщенное водою и засасывающее тяжелый предмет, попавший на его поверхность, соответствует бытовому и выше приведенному гидрологическому определением болота. Недостатком гидрологического определения является неясность понятия «продолжительное время» и «в избыточном, сверх полной влагоемкости, увлажнении». К сожалению, «продолжительность» нельзя формулировать более точным «всегда», так как и самые влагонасыщенные торфяники в засушливое лето просыхают.

Комплексное определение болота пытается сочетать несколько условий, совместное наличие каждого из которых является обязательным для отнесения данной части земной поверхности к категории болота.

Первое необходимое условие — постоянное или периодически весьма продолжительное избыточное содержание влаги в почво-грунте сверх полной его влагоемкости.

Второе условие — преобладание на данной поверхности водолюбивой (гидрофильной) растительности.

Третье условие — ослабление распада органического вещества отмирающих растений и потому — накопление органического вещества в виде торфа; необходимая толща торфа не указывается, так как считается достаточным уже начало накопления торфа.

Иногда приводится еще и четвертое условие — происходящую благодаря избытку влаги специфичность почвенных процессов, то в сторону кислотности, то в сторону щелочности (Аболин [1]).

Таким образом, комплексное определение болота сочетает гидрологию, ботанику, геологию и химию.

Делая последовательные выводы из этого определения, получаем:

а) Поверхность, покрытая сфагновыми мхами на минеральном грунте (в лесах), но без наличия прослойки торфа, еще не есть болото, хотя бы сфагнум и был насыщен всегда водою; в этом — положительная сторона определения.

б) Торф любой толщины, но хорошо осушенный и покрытый культивируемыми растениями (зерновые, корнеплоды, технические культуры), уже не есть болото. Это пространство остается торфяной залежью, торфяником, как геологическим образованием, но в нем уже нет двух основных признаков болота — избыточной влажности и водолюбивой растительности; это бывшее болото, как, аналогично, и водоем, после спуска из него всей воды, уже не пруд или озеро, а бывшее озеро. Традиция еще очень долгое время называет такие места попрежнему болотом или прудом, но существа понятия здесь уже нет.

в) Песчаные пространства, насыщенные минерализованной водою, в условиях юга остаются без накопления торфа и потому, согласно рассматриваемому определению, не подходят под категорию болота; в этом — недостаток комплексного определения.

Наибольшее признание среди болотоведов имеют геолого-эксплуатационные и комплексные определения болота, несмотря на указанные их недостатки. Болотная растительность и торф есть признаки, видимые и отличающиеся всяким наблюдателем.

Однако наиболее обоснованным и объемлющим является гидрологическое определение болота, как земной поверхности, почвогрунт которой находится всегда, или периодически продолжительное время, в насыщенном водою сверх полной влагоемкости состоянии; наличие же водолубивой растительности и накопление торфа являются следствием избытка воды, наличие или отсутствие которых не должно быть основным критерием для причисления насыщенной водою территории к категории «болото».

При проведении работ по составлению Водного кадастра СССР оказалось совершенно необходимым скорейшее, хотя бы и условное, разрешение основного вопроса о том, какие площади земной поверхности относить к болотам.

На Второй конференции по вопросам кадастра болот (20 — 23/IV 1934 г.), в которой приняли участие болотоведы как научных, так и производственных учреждений Ленинграда, Москвы, Киева и Минска, а также были учтены присланные письменные заключения отдельных специалистов, — было принято геолого-эксплуатационное определение болота.

Это определение было сформулировано следующим образом:

«Болотом называется избыточно увлажненный участок земной поверхности, покрытый слоем торфа, глубиною не менее 30 см в неосушенном и 20 см — в осушенном состоянии».

«Являясь в естественном состоянии определенным элементом географического ландшафта, болото возникает и развивается при постоянном или весьма продолжительном периодическом избыточном увлажнении поверхностных слоев земной коры, следствием чего является наличие характерной для болот растительности и специфического направления почвенных процессов, ведущих к накоплению торфа».

Определение торфа Конференцией было дано следующее: «Торф — органогенная порода, содержащая не более 50% минеральных примесей, состоящая в основной массе из остатков отмерших болотных растений и продуктов их гумификации в условиях избыточной влажности, при затрудненном доступе воздуха».

Наряду с приведенным определением болота, Конференция зафиксировала и категорию «заболоченных земель», под которыми предложила считать «продолжительно избыточно увлажненные части земной поверхности, покрытые слоем торфа, мощностью не более 30 см в неосушенном состоянии или вовсе лишенные его».

Заболоченные земли были разделены вышеуказанной Конференцией на две группы:

а) торфяные заболоченные земли: заболоченные леса и кустарники, заболоченные луга и пастбища, заболоченные тундры, окрайки болот.

б) заболоченные земли без торфа: плавни, мокрые солончаки, площади постоянного увлажнения вследствие просачивания грунтовых вод и др.

Образование болот на водоемах

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

Первая схема была разработана первоначально в Германии, оттуда перешла в дореволюционное время в русские научные и популярные издания, была проведена 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 выпадающими в него ручьями или непосредственно отмываемого волнами от берегов озера. Кроме того, из стекающих в озеро вод происходило в некоторых случаях осажделение веществ, приносимых в растворе преимущественно углекислого кальция — извести. Эти минеральные наносы и осадки, вместе с остатками водяных растений, живущих вне связи с дном и не способных иметь своих активных движений (планктон), а также с остатками животных и их выделений, образуют первый слой отложений на дне водоема — плотный минеральный, обычно мергелистый, слой серого цвета.

В то 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 на его середину надвигаются 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 массу стеблей и листьев, которые, отмирая, падают в воду и консервируются; образуется третий горизонт отложений, уже с значительным преобладанием органического вещества над минеральным, — слой тростникового торфа. Среди тростника развивается большое 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, в нем 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, отлагающими принесенные или 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 майник водный (*Glyceria*), канареечник (*Phalaris*), вейник (*Calamagrostis*), хвощ (*Equisetum*) и многие другие. Кроме того, образуется моховой покров из гишновых мхов (*Calliergon* и *Drepanocladus*).

Продолжающиеся отложения травяной флоры поднимают поверхность торфяных отложений все выше и выше, пока она не перестанет затопляться весенней водой; следовательно, на нее уже меньше соедает минеральной удобряющей муты. Поэтому осоки, требующие для построения своего тела много минеральных солей, начинают чувствовать их недостаток. Хорошие условия создаются для кустарников и древесной растительности; появляются кусты ивы (*Salix*) и ольхи (*Alnus*). 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 гишновые и белые сфагновые мхи, обильно растущие осоки, но уже других видов, чем первоначально развившиеся по берегам озера.

Вследствие продолжающегося накопления органического вещества, при отсутствии в то же время увеличения запасов минеральных веществ, происходит дальнейшая смена растительного покрова, выражающаяся в исчезновении осоки и всего разнотравия, свойственного еще переходным болотам, и в развитии взамен этого 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, тем самым вызывая ее отмирание; ольха, ива, береза и, наконец, сосна прекращают свой рост и засыхают. Поверхность болота, благодаря быстрому нарастанию сфагнума, поднимается все выше и выше и принимает по отношению ко всей периферии выпуклую форму; 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: *Sphagnum fuscum* — бурый мох (Европа, Азия, Канада), *Sphagnum medium* — красный мох (там же и Шотландия), *Sph. cuspidatum* (Европа, Закавказье) и *Sph. acutifolium* (Европа, Закавказье, Шотландия). Часто встречаются также сфагнумы: *Sph. angustifolium*, *Sph. balticum*, *Sph. cymbifolium*, *Sph. parvifolium* и *Sph. Dusenii*. Из перечисленных мхов *Sph. fuscum* образует гряды между мочажинами, а *Sph. cuspidatum* и *Sph. Dusenii* занимают мочажинные места.

Кроме сфагнового покрова, для «верхового» болота специфичны полкустарники-полутравы, образующие местами также сплошной верхний ярус растительности: багульник (*Ledum palustre*), баян, или кассандра (*Cassandra calyculata*), подбел (*Andromeda polifolia*), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), черника (*Vaccinium vulgaris*), клюква (*Oxycoccus palustris*), ерник (*Empetrum nigrum*).

Из травяной растительности на верховых болотах в Европе, Сибири и Канаде обычны: шейхцерия (*Scheuchzeria palustris*), очеретник (*Rhynchospora alba*), осока (*Carex pauciflora*, *C. filiformis*, *C. lasiocarpa* и др.) и ушица (*Eriophorum vaginatum*). Реска, но специфична для моховых болот севера и юга, росняка (*Drosera rotundifolia*).

Из древесной растительности на верховом болоте держатся лишь: сосна (*Pinus silvestris*), 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 его за пределы первоначального водоема с захватом прилегающих суходолов.

С увеличением площади сфагнового болота и выпуклости поверхности 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 испарения ее со сфагнового болота, вследствие чего излишек воды ищет выхода с болота, образуя постепенно в поверхностных слоях торфа скопления воды, сначала в форме мочажин, а затем в виде «вторичных» озер и русел вторичных рек, дно и берега которых образованы торфом. Впоследствии дренирующее действие вторичных русел может оказаться настолько сильным, что торф по берегам их уплотняется и на нем вновь появляется 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. В результате исследований болот Ленинградской области Г. И. Ануфриев [3] утверждает, что большинство болот в окрестностях Ленинграда возникло на месте небольших и неглубоких озер, причем заторфование их дало толчок к заболачиванию окружающей суши на огромной площади.

По потребности в питательных веществах растительность травяных болот (тростник, осоки, хвощи и др.) называют эвтрофной, т. е. требующей богатой пищи, растительность сфагновых болот называют олиготрофной, т. е. довольствующейся скудной пищей, а растительность переходных болот — мезотрофной.

Образование болот на суходолах

Значительные площади болот образовались не путем зарастания 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 нее 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*, *Pleurosium*, *Aulacomium*, *Nylosomium*.

После того, как кукушкин лен образует небольшой слой торфа, на нем появляются сфагнумы, постепенно вытесняющие кукушкин лен. Сфагнум облекает стволы деревьев и, насыщенный водой, прекращает доступ воздуха к их корням, под влиянием чего в первую очередь гибнет ель; сосна же еще длительное время продолжает расти, испытывая постепенно возрастающее 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, при переходе елового и соснового леса в болото наблюдаются три стадии:

1-я стадия: тип леса *Pinetum* или *Picetum 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 леса обычно 5-го бонитета;

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

Болотоведы разделяют 3-ю стадию еще на две:

а) *Sphagnosum magno-pinosum* — сфагновое болото с сосной средних размеров и б) *Sphagnosum 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 цементированной 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 леса в СССР 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. На территории 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 глинистые или суглинистые, заболачивание вовсе не связано с появлением ортштейна» [109].

3. Заболачивание появляется часто на месте вырубки леса не только в низинах, но и на возвышенных местах. Лесосека покрывается злаками, среди которых чаще всего — вейник и луговик (*Calamagrostis* и *Aira*), образующие плотную дернину, препятствующую возобновлению древесной растительности и способствующую застаиванию влаги. Наряду с вейником и луговиком разрастается зеленый мох кукушкин лен, заглушающий оставшиеся из-под леса растения. Через несколько лет на создавшемся субстрате появляется мох - сфагнум и образуется моховое болото.

• 4. Заболачивание наблюдается также после лесного пожара. Исследования 1936 г. И. В. Тюрина и А. Л. Кащеева в Онцевской даче Сиверского опытного лесничества обнаружили, что здесь под обычным волокнистым торфом имеется резинообразный аморфный слой торфа — «жирный гумус», сильно сжимающийся в засуху. Этот аморфный гумус образовался, по предположению исследователей, из разраставшихся на пожарище растений — маршанции, фурарии и др. На гумусовом слое развиваются затем подушки сфагнома, сливающиеся постепенно в сплошной сфагновый ковер.

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

Сюда же следует отнести заболачивание речных долин в черноземной полосе, вызываемое овражными выносами, в значительном количестве поступающими из действующих оврагов во время весеннего снеготаяния и после летних ливней. Эти выносы, состоящие из крупных и мелких частиц земли, 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 по пойме.

6. Заболачивание приречных низменностей происходит также вследствие поднятия уровня воды в реке, вызванного устройством плотин. В этом случае одновременно имеет место как затопление водою с поверхности, так и подтопление площади поднятием грунтовой воды. Злаковая растительность сменяется осоковой, происходит накопление растительных остатков, удерживающих в себе влагу; на этом субстрате развиваются затем мхи и идет описанный уже процесс смены растительности, приводящий к господству сфагнома.

7. Заболачивание луга происходит также вследствие выхода грунтовых вод у подножия склонов. Такое заболачивание

идет обычно неширокой полосой. Характерными растениями при этом процессе являются: хвощ болотный, осоки, пушица; из деревьев здесь развиваются черная ольха и береза.

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

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

9. В области тундры причиной заболачивания является весьма малое испарение с поверхности земли и неглубокое залегание с л о я в е ч н о й м е р з л о т ы; 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 богатую травяную растительность, очень содействующую заболачиванию. Трва дает массу мертвого покрова, который задерживает оттаивание земли в течение всего лета, препятствует испарению и механически задерживает сток воды. В результате образуются торфяные скопления с кочками высотой в 1 м, покрывающие пологие склоны и долины; такие кочкарники в Амурском крае носят название марей.

10. В районах орошения заболачивание пониженных мест вызывается стеканием в них воды с орошаемых площадей, поступающей как непосредственно из каналов, так и просачивающейся через грунт. Эти пониженные места являются очагами малярии.

11. 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 остатки жнивья и корни луговых растений на минеральной почве, вследствие краткости осеннего периода, невысокой температуры и значительной влажности, не успевают за это время разложиться до минерального остатка. Корневища злаков дают в почве бесчисленные разветвления, которые в конце концов образуют на глубине органическую прослойку, насыщающуюся вследствие своей гигроскопичности влагой, задерживающей проникновение воздуха вглубь почвы и побуждающей разветвления корневищ подниматься все ближе к поверхности луга.

Вследствие этого органическая прослойка в почве становится все толще; обладая большой влагоемкостью и гигроскопичностью, она 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.

На основе исследований в 1932—35 гг. болот Ленинградской области А. А. Немчинов [79] устанавливает, что процесс забола-

чивания обусловливается тремя основными факторами: климатом, рельефом и механическим составом грунтов; «... при составлении карты болот области было обнаружено, что на равнинных участках, вне зависимости от механического состава поверхностных толщ грунта, заболоченность была высокой; в местах же с расчлененным рельефом — значительно меньшей».

Нарастание болот

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

С какой же быстротой идет накопление торфа? Двадцать 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 встречается на болотах Европы, Закавказья и Сибири. Росянка образует ежегодно у поверхности мохового покрова мутовку листьев, вследствие чего вертикальное расстояние между следами мутовок на сохраняющемся в течение 2—4 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 [120] со следующими результатами.

На Лахтинском болоте, расположенном в 6 км к С от Ленинграда, было 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 мохового покрова по росянке определен равным 8 мм, а у г. Холмогоры — 15 мм.

В Карачаевском районе Курской области, на болоте Пыльцо, в 1913 г. годичный прирост мохового покрова Юрьевым определен в 48 мм. В б. Новгородской губернии, по наблюдениям В. Н. Сукачева и М. М. Юрьева, годичный прирост сфагнового покрова по роснянке определен равным 35 мм. В Бузулукском бору б. Самарской губернии, по исследованиям В. Н. Сукачева, ежегодный средний прирост болот равен 30 мм. На Зоринских болотах Курской области, в лесостепной зоне, годичное нарастание определено равным 45 мм.

По расстоянию между мутовками листьев роснянки определяется толщина нарастающего за год сфагнового покрова после уплотнения его только в течение одного мертвого сезона зимы; вследствие дальнейшего уплотнения отложившихся годичных слоев в последующие годы суммарная высота нарастания, например за 5 лет, оказывается значительно меньшей, чем пятикратное годичное нарастание.

Поэтому для определения нарастания сфагнового болота в высоту за продолжительные периоды времени применяется иной способ, именно — метод измерения нарастания сфагнума над корневой шейкой сосны.

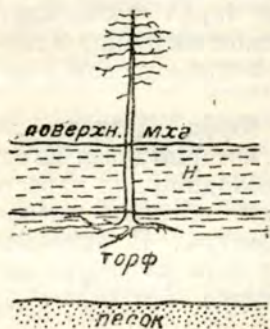


Рис. 1. Нарастание мха над корневой шейкой сосны.

2. Метод «сосны». Сущность этого метода основана на том, что корневая шейка растущей на болоте сосны находится близ поверхности мохового покрова. С каждым годом ствол сосны растет вверх, корни ее 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. 1).

Измерив толщину мохового слоя над корневой шейкой сосны и определив по годичным отложениям древесины возраст сосны, легко вычислить среднегодовую величину нарастания мха как за малые, так и за многолетние периоды времени.

В результате постепенного уплотнения моховой массы под действием давления на нее нарастающего выше мха (и снега), а также вследствие происходящих процессов оторфованья мха, плотность массы с течением времени увеличивается. Поэтому среднегодовая величина нарастания мха оказывается тем меньше, чем больше период, за который 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. Не вполне также точно может быть определен и возраст сосны по тончайшим годичным отложениям древесины. Поэтому по каждому болоту необходим 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, в 1924 и 1925 гг. автором в БССР было организовано определение толщи сфагнового слоя, выросшего над корневой шейкой, и возраст, соответствующий продолжительности нарастания, для 3091 сосны на четырех болотах. Сосны с каждого болота были сгруппированы по возрасту через каждые 5 лет. Средние высоты нарастания мохового покрова за различные периоды времени, полученные в результате этих определений, приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Нарастание мха на болотах БССР

Продолжительность периода нарастания (годы)	Наблюденная средняя высота (H) выросшего мохового покрова за весь период (в мм)				
	Горечкое болото (Оршанский округ)	Пышачское болото (Борисовский округ)	Хоминское болото (Бобруйский округ)	Глинкинское слабо осушенное болото (Оршанский округ)	Глинкинское сильно осушенное болото (Оршанский округ)
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 Горечковской лесной даче Оршанского округа БССР, в части, прилегающей к с. Чепелинка. Взято 1014 сосен. Для исследованной части болота имеется план в горизонталях и зондировки торфа. Болото типично моховое, покрытое мхами (*Sph. medium* и *Sph. parvifolium*), багульников, подбелом, 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 зеркала воды в 87 га. В настоящее время высшая точка поверхности болота на 2,52 м выше бывшего зеркала воды.

2. Моховое болото в Пышачской лесной даче, в районе оз. Нерыб Борисовского округа. Взято 898 сосен. Болото в исследованной части имеет среднюю мощность слабо разложившегося торфа 5,64 м.

3. Моховое болото в Глинкинской лесной даче, близ ж.-д. ст. Славное Оршанского округа. Взята 971 сосна. Средняя мощность торфа 3,48 м. Торф разложившийся. В 1912 и 1913 гг. по болоту были прорыты осушительные канавы, в расстоянии 600 м друг от друга, а в 1916 г. значительная площадь болота была подготовлена под выработку торфа с прорытием картовых канав, глубиною 1 м, через 50 м одна от другой.

Сводка наблюдений по БССР дает следующие величины нарастания сфагновых болот по высоте:

За 20 лет	около 20 см
» 50 »	» 40 »
» 100 »	» 50 »

На болоте Галицкий Мох, расположенном в 125 км к СЗ от Москвы (где ныне помещается Торфяная опытная станция), получены следующие величины нарастания мохового покрова (табл. 2).

Таблица 2

Нарастание мохового покрова на болоте Галицкий Мох

Продолжительность нарастания (годы)	Высота наростшего мохового покрова за все время (в мм)	Продолжительность нарастания (годы)	Высота наростшего мохового покрова за все время (в мм)
5	122	45	288
10	204	50	277
15	238	55	290
20	272	60	289
25	294	70	289
30	303	80	304
35	311	115	392
40	310		

Анализируя полученные данные о высоте наростшего мха на болотах БССР и на болоте Галицкий Мох, можно видеть, что¹ на последнем был продолжительный перерыв в нарастании суммарной толщи сфагновых отложений и происходила даже ее убыль (45—70 лет до года наблюдений); отсутствие нарастания толщи отложений за период 61—65 лет до 1925 г. видно и на болотах БССР (Горейское, Пышачское, Глинкинское).

Данные многочисленных наблюдений по методу взятия сосен, произведенные М. М. Юрьевым [120] в Ленинградской области, сведены в табл. 3, показывающей величины нарастания за различные периоды времени.

¹ Отмечено Д. А. Бегаком [7].

Нарастание мха на болотах Ленинградской области (в мм)

Продолжительность нарастания (годы)	Тип болот <i>Magno-pinosum</i>				Тип болот <i>Nano-pinosum</i>		
	Лахтинское болото	Шува-ловское болото	Псковский район	Новгородский район	Лужский район	Лахта (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	—	—	—	—

Приведенная сводка указывает на значительную разницу в темпе нарастания мха на сфагновых болотах типа *Magno-pinosum* («большие сосны») и *Nano-pinosum* («малые сосны»). Тип *Magno-pinosum* дает за 50 лет около 40 см нарастания мха, т. е. как и в БССР, а тип *Nano-pinosum*, за это же время, — около 75 см.

Очень точное определение нарастания мха было произведено Т. Л. Ефимовой в 1926 г. на Сосновском торфянике (близ г. Ленинграда), площадью 1,7 км². Болото сфагновое, с сосной и пушицей; по окрайкам и на пожарищах — сосна и береза. Глубина торфа до 3 м, разложение по толще залежи слабое, среднее и сильное. В результате этой работы нарастание мохового покрова по пятилетним периодам, определенное для 473 сосен, получилось в следующих размерах (табл. 4).

Таблица 4

Нарастание мха на Сосновском болоте

Продолжительность нарастания (годы)	Высота мохового покрова (в см)	Число сосен	Продолжительность нарастания (годы)	Высота мохового покрова (в 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			

По методу взятия сосен для 200 точек разного типа болот Финляндии Сааринен (Saarinen) определил высоту нарастания сфагнового покрова за 23 года равной 24 см.

Наглядное представление об увеличении толщи накопления сфагноума, переходящего в торф, дает график нарастания на Пышачском болоте (БССР). Плавная кривая, охватывающая высоты накопления, как видно на графике (рис. 2), имеет форму параболы. Экстраполируя эту параболу, можно сделать очень интересное предположение о том, что за 200 лет на Пышачском болоте нарастание сфагноума и торфа предположительно равно 690 мм.

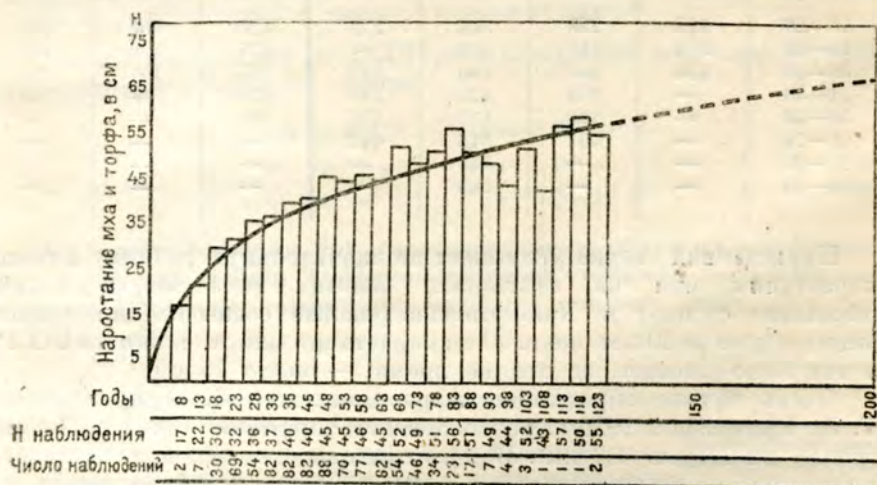


Рис. 2. График нарастания мохового покрова на Пышачском болоте (БССР).

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, который в 1914 г. произвел нивелировку в Петровско-Шатурской даче Ивановской области по линии нивелировки 1875 г. Повторная нивелировка выяснила, что за истекшие 40 лет поверхность моховика поднялась в среднем на 400 мм.

4. Метод случайных находок. Определение нарастания торфяника в высоту по этому методу основывается на раскопках в торфяном грунте. Например, в 1924 г. на Бучанском пойменном болоте близ г. Киева был найден на глубине 3 м каменный топор, хорошо отполированный, отнесенный к концу неолитического каменного века, за 3000 лет до нашей эры; поэтому годичный прирост торфа здесь оказывается равным 0,6 м.

На Лайбахском болоте, в верховьях р. Савы, в провинции Крайна, была произведена раскопка идущей через болото дороги, покрытой слоем торфа 1,2 м. На этой дороге была найдена римская монета чеканки 41 года нашей эры. Если сделать предположение, что дорогой не пользовались в течение 1800 лет, в каковой промежуток образовался слой торфа 1,2 м, то средний годовой прирост торфяной массы получается равным 0,7 мм.

5. Метод «пыльцы». Определение продолжительности нарастания торфяника по этому методу производится по находимой в торфе пыльце цветковых растений, преимущественно деревьев. В слоях торфа хорошо сохраняется, неопределенно продолжительное время, пыльца растений, цветущих как на самом болоте, так и по периферии, оседающая на поверхности болота и погребаемая здесь последующим нарастанием сфагноума. После периода таяния ледника происходило несколько смен климатов, соответственно которым 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 древесных пород, отлагавших пыльцу за тысячелетия до нашей эры.

6. Метод «пограничного горизонта». Отложения сфагнового торфа имеют два яруса: 1) нижний ярус из старого, разложившегося торфа, образовавшегося в теплый и влажный период, 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 [35].

Между атлантическим и субатлантическим влажными периодами, в течение которых торфообразование шло успешно, был период сухого континентального климата (суббореальный), в течение которого процесс накопления торфа прекращался, и взамен толщи торфа за это время отложился узкий темный прослойка органического вещества, называемый «пограничным горизонтом». Период континентального климата определен предположительно за 3000—5000 лет до нашей эры.

Если принять, что со времени начала влажного и холодного субатлантического 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 (Калужский район)	1,0 »
Агафинское	0,4—0,5 »
Зубовское	0,4—0,5 »

7. Метод использования следов пожаров. В двух государственных лесах Финляндии зарегистрированы произошедшие в 1852 г. пожары. В настоящее время слой угля и золы на этих местах покрыт сфагнумом и торфом следующей толщины¹: 1) в лесу Кикко по р. Каретуларосло 10—20 см у краев и 50 см — в середине, при площади болота 5,2 га; 2) в лесу Vahanke — Mustaripa, по той же р. Каретула, толщина слабо разложившегося торфа над золою составляет 30—40 см, при площади болота 52 га.

¹ Lukkala, Журнал Metsätieteellisen tutkimuslari toksen julkaisuja, № 19, 1934.

Сводные данные по нарастанию сфагновых болот в высоту могут быть выражены следующими цифрами (табл. 5).

Таблица 5

Высота нарастания сфагновых болот (в см)

Продолжительность периода (годы)	Район Ленинграда. Исследования Юрьева		БССР. Исследования А.Д.Дубаха	Болото Галицкий Мох (между Москвой и Калинином). Исследования Герасимова	Финляндия. Исследования Сааринена и Луккала
	Болота с сосной	Болота с мелкими сосенками			
20	—	—	20	27	—
23	—	—	—	—	24
50	40	75	40	28	—
80	—	—	—	—	40
100	—	—	50	35	—

В СССР и в Финляндии за 3000—5000 лет со времени образования в сфагновых болотах пограничного горизонтаросло от 1 до 5 м торфа.

Разрастание болот по периферии

Еще большее значение, чем нарастание мохового покрова в высоту, имеет разрастание сфагнового болота по периферии, ведущее за собою заболачивание новых площадей.

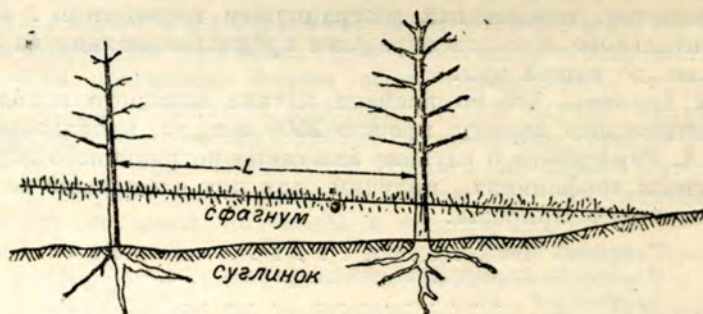


Рис. 3. Определение разрастания болота по периферии.

Ход разрастания болот в стороны можно определять по годичным отложениям древесины достигнутых болотом деревьев, находящихся в различном удалении 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. 3). Сосны спиливаются, и по величине годичных отложений древесины на каждой из них определяется число лет угнетенного роста; если, например, ближняя сосна (ближе к периферии болота) имеет 9 лет угнетенного роста, а дальняя сосна — 15 лет, то очевидно, 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 территории СССР не имеется.

Разболачивание земель

Если процесс заболачивания земель вызывается многими природными причинами, вплоть до естественного процесса заболачивания лугов, а также деятельностью человека, включая и вырубку леса, то неизбежно возникает вопрос: почему же за столь продолжительное время развития хозяйственной деятельности человека и тем более — действия естественного процесса заболачивания все Луга и леса зоны избыточного увлажнения не превратились в болота.

Очевидно, есть и обратный процесс — разболачивание. В этом отношении весьма ценны исследования, проведенные на лесных площадях в Лисинском учебном леспромхозе¹. 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 через 15 лет с момента 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, осинкой 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. Аналогичные процессы следует искать и на луговых пространствах.

Глубина и структура торфяной залежи

По недавним исследованиям Научно-исследовательского торфяного института [53], касающимся верховых болот, торфообразование есть процесс биохимический, являющийся результатом деятельности

¹ Исследования В. А. Буренкова и А. Л. Кашеева.

микроорганизмов. Этот процесс происходит главным образом в верхнем слое залежи, называемом поэтому торфогенным слоем. Микроорганизмы, находящиеся в жизнедеятельном состоянии, расположены в наибольшем количестве в слое от 20 до 60 см от поверхности, реже — до 1 м; преобладают бактерии, за ними следуют грибки и дрожжи. Поэтому, оказывается, что образование верхового торфа из растительных остатков есть процесс преимущественно аэробный, и становится понятным, почему глубокие слои верховой залежи остаются в одинаковой степени разложения в течение тысячелетий.

Разложение низинных болот менее изучено; оно идет быстрее, сопровождается распадом клетчатки и накоплением азотных веществ.

Структура торфяной залежи отражает процесс ее образования. Каждая растительная формация, уступая место следующей, своими остатками участвует в нарастании торфяной массы, давая ей особые свойства, по которым на вертикальных разрезах можно восстановить историю развития болота.

Например, залежи торфа верховых болот Северо-западной области имеют следующее типовое строение, начиная сверху: 1) очес — слой неразложившегося сфагнома и других растений, — до 50 см; 2) сфагновый торф, весьма различной мощности, но как типовой — 4 м, 3) осоковый торф, мощностью до 2 м, 4) гиновый торф — до 1 м, 5) озерные отложения (сапропель) — 1 м.

Толща сфагнового торфа имеет часто внутри себя, на глубине 2—2,5 м, прослойку сильно разложившегося торфа, образованного остатками сосны, пушицы и сфагнома (вид *medium*), с наличием сохранившихся илей сосны; это так называемый пограничный горизонт, образовавшийся за 500—2500 лет до нашей эры, в период более сухого климата, когда торфяники покрылись сосновым лесом, затем погибшим.

В зарубежной литературе наибольшая глубина торфа указывается равной 24,6 м на моховом болоте в Восточной Пруссии, близ г. Норденбург, у с. Петлак; глубина залежи 20 м определена также в Восточной Пруссии у Шехстеда [10].

Сведения о глубинах торфяной залежи 8 м и более, определенные на болотах СССР приведены в табл. 6.

Наибольшая глубина торфа в пределах СССР зафиксирована равной 12,5 м на Панфиловском верховом болоте, в бассейне р. Поля (приток р. Клязьмы). Примечательным является наличие болота с глубиной торфа в 9,0 м в западном Закавказье, близ г. Зугдиди; второе по глубине сфагновое болото в Закавказье находится близ г. Поти, у оз. Палеостом, с глубиной торфа до 7 м; третье, с глубиной 5,9 м, — у г. Кобулет, близ берега Черного моря. Много глубоких болот сосредоточено в бассейнах р. Великой и р. Мсты. В Северном крае и в Карелии глубоких болот мало. Наибольшую глубину 7 м имеет болото близ г. Мурманска. Наибольшие известные глубины торфа на торфоразработках Ленинградской области: Шуваловские — 6 м, Синявинские — 6 м, Назиевские — 7,2 м, Тесовские — 5,9 м.

Классификация болот

Классификация болот может производиться по различным основным признакам, а именно: 1) по растениям-торфообразователям, 2) по топографическому положению, 3) по водному питанию.

Классификация по растениям-торфообразователям может в свою очередь проводиться двояко. Во-первых, по растительному покрову болота, характеризующему современную стадию развития болота, и, во-вторых, по растениям, образовавшим главную массу торфяной залежи. Современная стадия развития болота важна для суждения об агрономическом и лесохозяйственном освоении болот; в этом случае различают:

1. Травяные болота, они же низинные по топографическому положению, характеризуются преобладанием осок, хвоща, тростника, вахты, зеленых, главным образом гипновых, мхов, реже встречаются мхи - сфагнумы, видов, требовательных к питательным веществам (эутрофные сфагнумы); в древесном и кустарниковом ярусе — ольха, ель, ива; отмечается наличие относительно богатого минерального питания, приносимого или паводковыми, или грунтовыми водами.

2. Сфагновые болота, они же верховые по топографическому положению, характеризуются наличием бедного минерального питания и преобладанием, поэтому, малотребовательных (олиготрофных) сфагновых мхов (*Sph. medium*, *Sph. parvifolium*, *Sph. fuscum* и др.), а также пушицы одноголовой, шейхцерии, багульника, кассандры, андромеды, клюквы; в древесном ярусе — угнетенная сосна или лиственница.

3. Переходные болота, характеризующиеся умеренным минеральным питанием, одновременным присутствием растений верхового и низинного типов, диффузно-смешанных или мозаично сочетающихся в обособленных группировках, а также наличием некоторых растений средней требовательности (мезотрофных); в древесном ярусе присутствует разреженный древостой сосны и березы.

Торфяные залежи, как геологические образования промышленного назначения, классифицируются также тремя группами¹:

1. Низинный тип торфяной залежи, сложенный целиком видами торфа, образовавшимися из остатков растительности низинных и переходных болот или прикрытых слоем верхового торфа не толще 30 см.

2. Верховой тип залежи, сложенный не менее чем на 50% видами торфа, образовавшимися из остатков растительности верхового типа.

3. Переходный тип торфяной залежи, сложенный низинным торфом, прикрытым сверху слоем верхового торфа, мощностью менее 50% всей залежи, но не меньше 30 см и не больше 2 м в неосушенном виде, или же участки верхового и низинного типов чередуются в плане, образуя мозаичный комплекс.

Первичными факторами образования различных болот являются режим и химизм вод, питающих болото, растительность же является функцией последних. Поэтому классификация болот по водному

¹ Принято Конференцией по кадастру болот 20—23/IV 1934 г.

Болота с глубиной торфа 8 м и более

Бассейн	Река	Координаты центра болота		Название болота	Глубина торфа (в м)	Тип болота	Ближайший населенный пункт
		Широта	Долгота				
р. Волга до г. Калинин	Кранивная	57°06'	33°25'	Без названия	8,5	Переходное	с. Кранивенка
р. Волга между г. Калинин и г. Костромой	Медведь	57 12	36 34	Поддубное	8,0	»	с. Поддубное
р. Волга	Оршица	57 00	35 28	Оршинский Мох	8,0	Верховое	В 30—40 км от г. Калинин
р. Чагодоща	Песь	59 04	34 25	Островское	8,0	Смешанное	г. Остров
р. Ветлуга	Пыщуг	58 59	45 36	Реутовское	7,9	Низинное	с. Реутиха
Финский залив	Черная	59 55	29 15	Сюрьевское	9,2	Верховое	с. Лендовщина
»	»	59 47	29 48	Порзловское	8,5	Переходное	с. Порзолово
р. Великая	—	57 02	29 15	Красный Лебединец	9,0	Низинное	г. Новоржев
»	—	56 54	28 42	Сотновское	8,7	Верховое	с. Шенки
»	—	57 00	28 42	Мох	8,0	»	с. Лукина
»	—	57 01	28 50	Прибодовское	8,0	»	с. Прибодово
»	Лейница	56 18	28 21	Чистик	9,0	Низинное	с. Липняги
»	Лосьма	56 23	28 26	Андропольское	9,5	Переходное	с. Андрополь
»	—	56 26	28 26	Красноборское	8,9	»	с. Барсуки
»	Лосьма	56 20	28 23	Коровелец	8,0	»	с. Шилина
»	—	56 24	28 28	Горелое	11,0	Низинное	с. Заболотники
»	—	56 25	28 45	Влазовичское	8,0	»	с. Влазовичи
»	—	56 13	28 13	Гребло-Мох	9,0	Переходное	с. Ляхово
»	Исса	56 16	28 16	Дедино	9,0	»	с. Дедино
»	—	54 14	28 22	Ломтик	8,0	»	с. Стеймак
»	—	56 08	29 04	Ковальковский Мох	8,0	»	с. Лужки
»	—	56 16	29 20	Поповское	8,0	Верховое	с. Ровное
Нева	Тосна	—	—	Гладкое	8,0	»	г. Саблино

р. Сухона	—	—	—	Кондас	9,0	—	с. Вострое
р. Волга	Ватама	—	—	Чистое	8,7	—	—
р. Днепр	Супса	50°12'	31° 0'	Сулойское	9,5	Низинное	г. Яготин
р. Сула	Удай	50 31	32 53	Удайское	8,0	»	с. Рожновка
»	»	50 28	32 08	Переводы	8,5	»	ст. Пирятин
»	Оржица	50 08	32 20	Орженцовское	8,0	»	м. Оржица
р. Псел	Хорол	50 06	34 56	Хорольское	10,0	»	г. Сердюков
р. Днепр	»	46 32	32 40	Кардашинское	8,5	»	с. Кардашинки
р. Березина	Можга	54 02	29 25	Есьмонский Мох	8,6	Верховое	с. Есьмон
»	Сведь, Жердянка	52 27	—	Великое	8,6	Низинное	с. Зеленоги
р. Мста	Хуба	58 46	32 42	Паницкое	8,2	Верховое	с. Дубовица
»	оз. Кафтино	57 54	34 16	Караськое	9,7	Переходное	с. Кирова Гора
»	Съезжа	57 53	34 53	Охлаевское	8,2	Верховое	—
»	оз. Коломенец	57 52	33 57	Коломенец	8,5	»	с. Никифорова
»	Шлина	57 39	34 20	Марцы	10,0	Верховое	с. Бахмары
р. Зап. Двина	Каменка	—	—	—	8,5	Низинное	—
»	—	—	—	—	10,0	Верховое	с. Сошны
»	Овсяница	—	—	—	8,5	Низинное	—
»	Нача	—	—	Павлицкое	9,6	Переходное	—
р. Ока	Протва	55 12	36 30	Воровское	10,0	»	г. Боровск
»	Жиздра	53 19	35 08	Березовое	10,1	Низинное	г. Белый
р. Угра	Ворона	54 32	34 25	Калуговское	8,1	»	с. Калугово
р. Москва	Истра	56 14	36 56	Мошинское	8,2	»	с. Козино
»	Пехорка	55 49	38 00	Бабошино	10,0	Переходное	с. Пехра
р. Дубна	Сестра	56 28	37 23	Мельченка	8,0	Низинное	с. Давыдово
»	»	56 16	37 29	Волкуш	9,0	»	с. Степановка
р. Шоша	Лама	55 57	36 08	Житковское	8,3	Верховое	с. Житково
р. Ока	Поль	55 44	40 34	Панфиловское	12,5	»	г. Остров
»	Серезжа	55 43	43 04	—	8,0	»	с. Кайданово
р. Клязьма	Поля	55 31	40 27	Корсаковское	8,4	Переходное	с. Будевичи
»	»	55 40	40 31	Сусловское	10,4	»	г. Остров
р. Ока	Гусь	55 04	40 07	Лукша II	11,0	Низинное	с. Часово
»	»	55 04	40 47	Лукша I	10,5	»	»
»	Койка	Ивановская обл.	—	Тейковское	9,9	—	с. Тейково
Черное море	—	Батумский район	—	Испани второе	9,0	Сфагново	г. Зугдиди

питанию является научно наиболее обоснованной. По режиму и химизму вод различают четыре типа болот¹:

1. Заплавляемые, намывного питания болота; эпизодически затопляются разливом от реки, обогащаются оседанием из воды минеральной мути; разнообразная травяная растительность, топь.

2. Жестководные болота грунтового питания; выходы минерализованных грунтовых вод; гипновые мхи и разнотравие.

3. Мягководные болота грунтового питания; сфагновые мхи с разнотравием.

4. Болота дождевого питания (атмосферного); растительность — сфагновые мхи (*medium* и *fuscum*), клюква и др.

¹ В основном по Аболигу [1].

Г Л А В А II

СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В ТОРФЯНОМ БОЛОТЕ

Торфяная залежь, как выше указывалось, является совершенно специфичным образованием: или это суша, но с содержанием воды 90—96%, или это водоем, но со связанной водой.

На II Гидрологическом съезде, состоявшемся в 1928 г. в Ленинграде, И. С. Розанов доложил о вычисленных им огромных запасах воды в болотах Переяславль-Усольского массива, по исследованиям в августе 1926 г. (табл. 7).

Таблица 7

Запасы воды в болотах Переяславль-Усольского массива

Название болота	Содержание воды в 1 м ³ сырой за- лежи (в кг)	Влажность торфа (в %)	
		максималь- ная	минималь- ная
Половецко-Купянское (верховое) . .	928	96	91
Машаровское (переходное)	906	94	86
Талицко-Плещеевское (низинное) . .	855	94	80

Однако эти цифры, как и приводимые ниже, показывают лишь содержание влаги в торфе, т. е. влажность извлекаемого из болота торфа, а не содержание воды в болоте. Следовательно, они дают 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: 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 и 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-реки, питающиеся водой атмосферных осадков, выпадающих на болото, а также иногда грунтовой водой, выклинивающейся по периферии болота. Озера и реки на болоте могут быть

первичного происхождения, существовавшие еще до образования болота и имеющие поэтому минеральное дно, и вторичного происхождения, образовавшиеся в результате дифференцировки (расчленения) поверхности торфяного (болота), как следствия необходимого стока избыточной воды с заторфованной площади. Вторичные озера и русла вторичных ручьев в начале своего образования являются следствием уменьшенного нарастания мохового покрова в местах скопления застаивающейся или медленнодвигающейся воды на болоте.

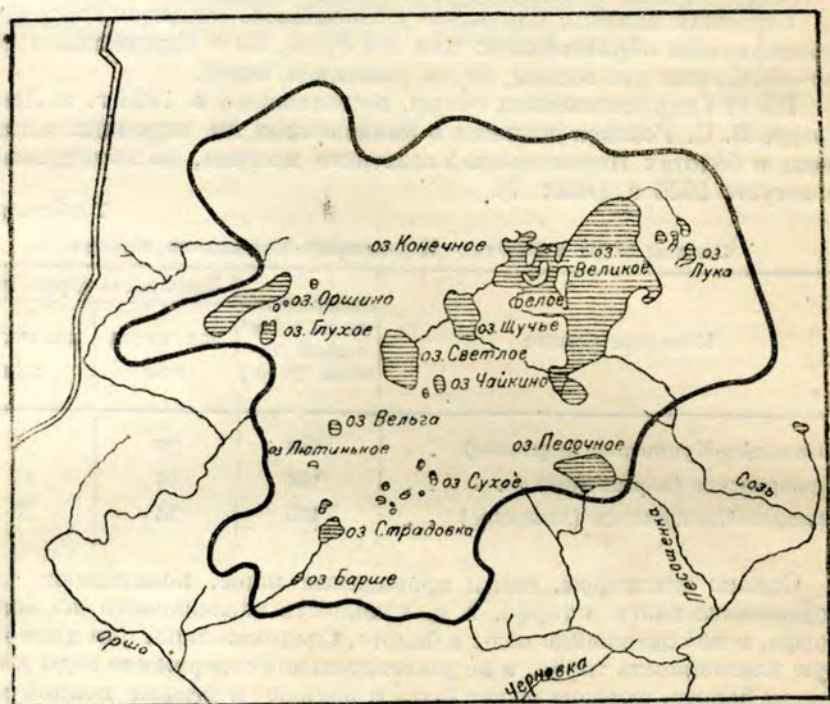


Рис. 4. Озера на Оршинском болоте (Калининская обл.).

Примером скопления озер на болоте является Оршинский массив Калининской области (рис. 4).

Наиболее изучена группа небольших озер Кобелевского торфяника (в районе Шатурской электростанции, в 100 км к В от Москвы), которые, по данным исследований 1920 г. Герасимова и Мейера [23, 75], имеют следующие размеры и максимальные глубины (табл. 8).

Дно всех этих озер покрыто глубоким слоем жидкого торфянистого бурого ила; вода содержит значительное количество растворенных гуминовых веществ, приобретаая благодаря этому коричневую и бурю окраску. Прозрачность воды очень мала, — всего, по диску Секки, 0,35 м (максимум 0,6 м). Малая глубина озер и

Морфометрические элементы озер Кобелевского торфяника

Название озера	Длина, км	Ширина, км	Наибольшая глубина, м
Черное (Торбеевское)	0,6	0,5	10
Белое	0,5	0,4	6,4
Святое	7	3	2,0
Муромское	2,6	1,8	1,8
Черное (Снаское)	0,7	0,5	1,4

темный цвет воды влекут за собой большую прогреваемость озер. Содержание растворимого кислорода незначительно, — вдвое меньше, чем могло бы раствориться при данной температуре. В прибрежной зоне озер растут тростники, камыши, желтая кувшинка, рдест, хвощ, рогуз, стрелолист и др. Микрофлора развита слабо и большей частью принадлежит к планктону, т. е. не прикреплена к дну.

Дно озер местами образовано слоем структурного торфа, простирающимся на некотором протяжении от берегов к центру. Это обстоятельство, а также положение горизонта воды в озерах относительно поверхности минерального грунта приводит Д. А. Герасимова к заключению, что уровень воды в озерах значительно повысился по сравнению с его положением при начале образования торфяных отложений.

Поднятие горизонта воды в озерах, расположенных среди верховых болот, происходящее вместе с нарастанием сфагноума, отмечено и другими исследователями: фон Постом — для Швеции, Р. Н. Спарро — для оз. Святое в Костречской лесной даче Бежецкого района. Повышение уровня воды объясняется заторфованием бывших водотоков из первоначального озера; вместе с подъемом уровня увеличивается иногда и площадь зеркала воды. Таким образом, изменение границ озера происходит в двух противоположных направлениях: развивающаяся с берегов болотная растительность заторфовывает озеро, а заторфование истоков из озера поднимает уровень воды в нем и увеличивает этим иногда площадь зеркала; перевес получает то тот, то другой процесс. Чаще наблюдается уменьшение площади озер, несмотря на одновременное поднятие уровня воды в них.

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

Аналогичное значение имеют небольшие по площади, но многочисленные скопления воды на сфагновом болоте мочажинной стадии развития. М о ч а ж и н н ы е в о д ы, разделяемые грядами слабо разложившегося торфа, создают пестрый, часто полосатый ландшафт, меняющийся по интенсивности в зависимости от выпадения атмосферных осадков.

Иной характер имеют временные поверхностные воды, покрывающие часть 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, поступающие из рек при наводковом подъеме их уровня.

Особым видом свободной воды в болоте является вода подторфьяная, находящаяся под торфяным слоем и держащая этот торф «на плаву»; эта вода находится в непосредственном соединении с вододоу открытого водоема, если часть его осталась еще не заторфованней.

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 ниже в разделе о движении воды в торфяной залежи (см. стр. 152). На одном из поперечных разрезов верхового болота Васюган (р. Васюган, приток р. Обь), А. Я. Бронзов [14] показывает большое число таких водяных мешков.

Наконец, 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 она в значительной мере входит в состав влагоемкой воды, тогда как остальные, ранее перечисленные категории свободной воды в состав понятия влагоемкости торфа не входят. Эту воду обычно называют «гравитативной» (иногда — «окклюзионной»). Поверхность гравитативной воды образует собою уровень грунтовой воды в залежи.

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

- 1) вода, создающая макроландшафт, — озера и реки;
- 2) вода, образующая микроландшафт, — заполняющая мочажины;
- 3) вода временная, поверхностная, от снеготаяния, дождей и поступающая из рек;
- 4) вода подторфьяная, держащая торф как плавающее тело;
- 5) вода внутризалежная, линзовая и жилная;
- 6) вода гравитативная (окклюзионная), образующая уровень грунтовой воды в торфянике.

Связанная вода

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

- а) капиллярная вода, находящаяся в узких пустотах между волокнами и частицами торфа и передвигающаяся по пустотам вверх

и вниз силою натяжения; эта вода удаляется из торфяного болота путем испарения через растительность и с поверхности торфа;

б) коллоидальная вода, удерживаемая гелями гумуса; удаляется при высушивании торфа;

в) осмотическая вода, находящаяся внутри неразрушившихся растительных клеток; может быть удалена лишь после химического разрушения оболочек растительных клеток;

г) гидратная вода, входящая в вещество торфа как химическая составная часть.

Имеется и другая классификация связанных вод в торфе. Так, по предложению проф. Г. Л. Стадника [108], всю воду, которую торф удерживает в себе при отжимании, следует называть коллоидально-связанной. Часть коллоидально-связанной воды, которая теряется при хранении торфа в пространстве, насыщенном водяным паром, следует называть имbibационной, а воду, остающуюся после этого в торфе, — адсорбционной.

Большим распространением 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 гравитатийная вода, часть которой при извлечении образцов торфа из залежи стекает, а частью остается в образце.

Количество связанной воды, фактически находящейся в торфе, соответствует понятию «влажности» торфа и выражается обычно в процентах от всего веса рассматриваемого торфа, вместе с содержащейся в нем водой.

Например, если полная влагоемкость торфа определяется в 800%, то содержание воды в нем при этом равно 88,9% от общего 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 перегнойный суглинок	32,25
Серый суглинок	31,95
Светлосерый легкий суглинок	34,48
Супесь	21,72
Слабоглинистый 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, содержащиеся в 1 м³ грунтов при полном их насыщении:

В песке	250 кг
» супеси	236 »
» 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 еще отметить, подчеркиваемую агрохимиками и агрофизиками, гигроскопическую воду. Это парообразная вода, которая обволакивает в виде пленки поверхность частиц почвы и недоступна для принятия корнями растений. Гигроскопичность грунта практически определяется тем количеством воды, которое сухой грунт может поглотить из воздуха, насыщенного парами воды; это соответствует адсорбционной воде, указанной выше. Богатство почвы органическими веществами увеличивает гигроскопичность, так как перегной, находясь в дисперсионном (мелкое раздробление) состоянии, имеет очень большую поверхность соприкосновения. Гигроскопичность различных почв по Митчерлиху следующая:

Песчаная почва	0,5—1,6%
Супесь	1,9—1,5%
Легкий суглинок	1,5—2,6%
Средний »	2,0—6,0%
Тяжелый »	6,0—10,6%
Глина	свыше 10%

В торфяных почвах гигроскопичность может достигать 100% и более.

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 гравитатийной);

2) вода, которая удерживается от стока силою влагоемкости и может расходоваться лишь на испарение (часть гравитатийной 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, основным мерилем деления воды в торфе является верхняя граница полной влагоемкости торфа; все, что превышает полную влагоемкость, может быть сравнительно легко отведено из болота по каналам и естественным руслам; все, что ниже границы 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.

Влагодеемкость торфа

Влагодеемкость торфа зависит: 1) от ботанического состава растений - торфообразователей, 2) от степени разложения торфа, 3) от зольности торфа и 4) от 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; однако они все же могут иметь и самостоятельное значение, как это будет показано ниже.

Значение ботанического состава. Лабораторные исследования Цейлера и Вильке по поглощению воды чистыми скоплениями отдельных видов растений дали следующие величины [40]. Сто частей воздушно-сухой массы растений поглощали частей воды:

<i>Sph. acutifolium</i>	2010
<i>Sph. cuspidatum</i>	1677
<i>Sph. stramineum</i>	1751
<i>Hypnum scorpioides</i>	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» [109].

Понятно, что поглощательные 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 и тростникового торфов падает в той же последовательности ряда.

На Новгородской болотной станции получены следующие величины влагоемкости торфов различного происхождения (табл. 9).

Таблица 9

Влагоемкость торфов в районе Новгородской болотной станции

Тип болота	Влагоем- кость (в %)	Содержание влаги (в %)	Зольность (в %)
Сфагновое болото	935	90,3	3,71
Переходное сфагнуво-осоковое болото	707	87,6	6,88
Сугаинок	52	34,2	95

По исследованиям Инсторфа, торф в разрабатываемых карьерах (на осушенном болоте) содержит воды: на верховом болоте — 88%, на низинном — 84% [31].

Старые сфагновые торфа Шуваловского торфяника, лежащие ниже пограничного горизонта, поглощали воды значительно меньше (табл. 10).

Таблица 10

Влагоемкость сфагнового торфа Шуваловского торфяника

Глубина взятия образца (в см)	Содержание воды после насыщения (в %)	Зольность (в %)
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

Лежащие в самом низу слои гипнового и тростникового торфов показали следующую влагоемкость (табл. 11).

Таблица 11

Влагоемкость торфов Шуваловского торфяника

Род торфа	Глубина взятия образца (в см)	Содержание воды после насыщения (в %)	Зольность (в %)
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 объем пустот, тем самым уменьшая объем удерживаемой воды.

По исследованиям М. М. Юрьева [120], торф, взятый с разных глубин Лахтинского болота (близ Ленинграда) и положенный в воду на неделю, содержал в себе после этого следующие количества воды при полном насыщении:

Глубина	Содержание воды
0— 25 см	94,2%
25— 50 »	90,3%
50—100 »	87,9%

Тип исследованного болота — *Sphagnetum Nano pinosum* (мелкая сосна на болоте). Торф сфагновый, зольность его 1,82%. Вышеприведенное ясно показывает, что нижние, более разложившиеся слои торфа обладают меньшей влагоемкостью.

Тем же автором было произведено насыщение водой образцов верхнего слоя молодого сфагнового торфа с Шуваловского болота (близ Ленинграда); после насыщения содержание влаги в образцах оказалось следующим (табл. 12):

Таблица 12

Влагоемкость торфа Шуваловского болота

Глубина взятия образца (в см)	Содержание воды после насы- щения (в %)	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 погранич- ного горизонта	58,0	1,64

Здесь совершенно закономерно получилось, что по мере углубления влагоемкость сфагнового торфа уменьшалась, на что влияла не только степень разложения, но и уплотнение торфа.

Из зарубежных примеров следует привести результат исследований Бременской болотной опытной станции торфа, в провинции Острогольц, подтверждающий положение, что чем больше разложился торф, тем меньше его поглотительная способность (табл. 13).

Таблица 13

Влагоемкость торфа болота в провинции Острогольц

Глубина взятия об- разца (в см)	Характеристика торфа	100 частей воздушно- сухой массы поглощали частей воды
0—27	Верхний слой мохового торфа, хорошо разложившегося	890
27—43	Моховой торф, менее разложившийся, с примесью пушицы	1 330
43—61	Моховой торф, более чистый	1 560
61—76	Моховой торф с примесью верескового, хорошо разложившегося	820
76—91	Смешанный торф: моховой, вересковый и остатки пушицы	720
91—104	Очень хорошо разложившийся вересковый торф, 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

Значение зольности торфа. Зольность торфяного болота имеет тройное происхождение. Во-первых, зола входит в состав тела всякого растения и этим самым — в состав торфа как продукта консервации растения; во-вторых, зола поступает

на болото при осаждении из воды приносимых во время паводков взмученных частиц ила; в-третьих, зола оседает на поверхность болота в составе пыли, 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 обуславливается характер растительности.

Зольность растений-торфообразователей весьма различна. Цейлер [40] дает следующие величины зольности сухого вещества растений-торфообразователей (в %):

Тростник	4,2	Сфагнум (<i>Sph. cuspidatum</i>) . . .	2,4
Камыш	14,41	Шейхцерия	4,0
Хвощ	15,23	Пушица	1,9
Гипнум	6,16	Голубика	1,2
Кукушкин лен	8,78	Подбел	2,9
Сфагнум (<i>Sph. acutifolium</i>) . . .	2,42	Багульник	2,1

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

Зольность других видов сфагнумов, по Малиутину [53], равна (в%):

<i>Sph. 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 торфа Горецкого болота (БССР) показали следующую зольность (табл. 14).

Таблица 14

Зольность торфа Горецкого болота (БССР)

Глубина взятия пробы от поверхности (в см)	Среднее содержание сухого вещества в 1 дм ³ залежи (в г)	Средняя золь- ность сухого ве- щества (в %)	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—112	86,1	2,33	6

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

Многочисленные исследования совершенно ясно указывают, что чем больше зольность торфа, тем меньше его влагоемкость. На Рудня-Радовельской болотной станции (УССР) в результате 400 анализов получено следующее сопоставление зольности и влажности торфа (табл. 15).

Данные по Шуваловскому болоту, приведенные выше в табл. 11, подтверждают положение о том, что чем больше зольность торфа, тем меньше его влагоемкость, причем это относится не только к ряду

Зольность и влажность торфа Рудня-Радовельского болота

Зольность торфа, (в %)	Удельный вес	Содержание воды (в %)
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	86,0

однородных по торфообразователям образцов, но и к торфам различного происхождения: сфагновым, гишновым и тростниковым.

Значение плотности торфа. Плотность торфа уменьшает влагоемкость, однако сама плотность является в залежи обычно функцией от степени разложения торфа, и потому влияние плотности отдельно от степени разложения торфа не исследовалось, между тем во многих случаях она имеет и самостоятельное значение. Например, степень разложения торфа на разных глубинах может оказаться одинаковой, а плотность — различной. Обработка торфяника под сельскохозяйственные культуры вызывает, вследствие давления на него машин и людей, уплотнение торфяника при той же степени разложения. 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%, а низинного торфа — до 90%. Какова же их фактическая влажность в залежи? Оказывается, что фактическая влажность образцов извлеченных из залежи, обычно равна полной влагоемкости торфа. Если же извлекать образец торфа вместе с имеющейся в залежи свободной водой, то содержание воды в образце часто окажется выше полной влагоемкости торфа.

Здесь предварительно укажем на наличие в торфяной залежи так называемого уровня грунтовой воды, т. е. 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.

Слои торфа, находящиеся ниже уровня грунтовой воды, увлажнены до полной своей влагоемкости плюс свободная вода, а слой торфа, расположенные 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; имеются опубликованные цифровые материалы как послойных, так и суммарных влажностей залежи.

В. Кудряшев [64] дает следующую естественную влажность торфа, среднюю в залежи (табл. 16).

Таблица 16

Влажность и зольность торфа

Название болота	Тип болота	Естественная влажность (в %)	Зольность (в %)	Содержание сухого вещества в 1 м ³ (кг)	Примечание
Оршинский Мох (Калининская область)	Верховое	92,9	3,38	74	Слабоосушенное
Моховое 2-е (Калининская область)	»	91,3	3,76	68	»
Васильевский Мох (Калининская область)	»	92,6	2,78	63	»
Моховое (Киржачский район)	Переходное	88,2	6,45	118	»
Кривец (Киржачский район)	»	89,1	7,07	125	»
Б. Писцовское (Ивановская область)	Низинное	87,1	11,06	121	Неосушенное

Данные табл. 16, а также и другие материалы, указывают на два обстоятельства:

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

Послойное содержание влаги, как типовое для верхового и низинного болот на территории Редькинской торфяной опытной станции, по данным В. Г. Горячкина [31], в связи с зольностью, разложением и ботаническим составом, приведено в табл. 17.

Следует обратить внимание на то, что в слое торфа, лежащем над уровнем грунтовой воды, где влияет испарение и где пополнение влаги происходит ее капиллярным поднятием, 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. Большие величины влажности показывают определения ее в верхних горизонтах торфа на болотах Галицкий и Оршинский Мох [53].

В табл. 18 приведено детальное послойное расчленение верхнего горизонта залежи, иллюстрирующее наличие в ней разнородных по степени разложения и по влажности тонких прослоек; например, на глубине 11—12 см показана прослойка толщиной всего в 1 см, с влажностью 93%, находящаяся между прослойками с влажностью 88 и 89%.

Влажность и зольность торфа на болотах

Глубина взятия про- бы (в м)	Влажность (в %)	Зольность (в %)	Вид торфа	Разложение	Уровень грунтовой воды (в м)
Верховое болото					
0	18/VIII—78,3 2/X—82,6	7,04	Сфагновый, с приме- сью пушицы и кукуш- кина льна	Слабое	0,48—0,61
0,5	18/VIII—85,2 2/X—85,6	4,26	Пушице-сфагновый	Меньше среднего	
1,0	18/VIII—90,1 2/X—87,2	3,62	»	»	
1,5	18/VIII—88,5 2/X—88,6	3,49	»	Среднее	
2,0	18/VIII—90,2 2/X—89,5	3,16	»	»	
2,5	18/VIII—91,2 2/X—90,1	2,52	»	Меньше среднего	
3,0	18/VIII—90,2 2/X—88,7	2,47	Сфагново-пушицевый	Среднее	
3,5	87,1	8,16	Осоковый, с песком и древесиной	Хорошее	

Низинное болото

0	73,7	5,57	Пушице-сфагновый, с сосной и кукушкиным льном	Среднее	0,50—0,55
0,5	82,2	7,87	Осоковый, с сфагну- мом и пушицей	»	
1,0	83,1	6,75	Осоковый, с сфагну- мом и трифолью	Больше среднего	
1,5	86,4	5,52	Осоковый, с гишнумом	Среднее	
2,0	89,0	4,91	Гишново-осоковый	»	
2,5	89,5	5,55	Осоковый, с трифолью	»	
3,0	89,2	5,18	Осоковый, с гишнумом	»	
3,5	85,6	28,18	Осоковый, с трифолью	Хорошее	
4,0	70,6	70,46	Песок с осокой и три- фолью	»	

Таблица 18

Влажность торфа различной степени разложения на болоте Оршинский Мох (25/VIII 1932 г.)

Глубина взятия пробы (в см)	Степень разложения (в %)	Влажность (в %)
0—7	2	89
7—11	8	89
11—18	27	93
18—38	40	88
38—50	10	93

Влажность приречных низинных болот, данным Лаборатории торфяной части Наркомзема УССР [66], приведена в табл. 19.

Определения на болоте Галицкий Мох дали величину влажности в отдельных прослойках до 95%, при наличии здесь же прослоек с влажностью 88%. Этими цифрами Н. М. Беликова [53] иллюстрирует микро-слоистость, по степени разложения верхних горизонтов сфагновой залежи, обусловленную деятельностью микроорганизмов.

разрабатываемых болот, по Наркомзема УССР [66], при-

Таблица 19

Влажность торфяных залежей в УССР

Название болота	Округ	Влажность сырца (в %) на глубине					
		0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м	3,0 м	средняя
Кардашинское	Херсонский	88,0	84,0	91,4	90,0	—	88,4
Перевод	Прилуцкий	9,8	87,2	84,4	83,0	—	86,1
М. Низгурецкое	Бердичевский	80,0	85,4	—	90,0	—	85,2
Войтовское	»	86,4	81,2	83,8	—	—	83,8
Коммуна Чайка	Белоцерковский	—	82,6	—	84,6	87,0	84,7

Максимальная влажность украинских низинных болот, как видно из таблицы, равна 91%; в среднем же для неосушенных болот УССР влажность колеблется от 85 до 90% — при зольности ниже 30% и от 80 до 85% — при зольности свыше 30%.

Определение содержания влаги в торфе в зимнее время дает те же величины, что и летние определения. Влажность торфа Фировско-Корчажского сфагнового массива, близ ст. Фирово ж.-д. линии Бологое — Полоцк, в феврале 1933 г. приведена в табл. 20.

Очень большое содержание влаги оказывается и в болотах Германии. Так, Брик [127] приводит содержание воды в слабо осушенных частях «Мертвого болота» (Totes Moor) у г. Нейштадт (табл. 21).

Таблица 20
Влажность торфа Фировского и Корчажского болот

Глубина взятия пробы (в м)	Влажность торфа (в %)	
	Фировское болото	Корчажское 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

Влажность и зольность торфа «Мертвого болота» (Totes Moor)

Глубина слой (в м)	Род торфа	Влажность (в %)	Зольность (в %)
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. Шрейбер [144] приводит содержание воды в болоте Себастьянберг: в молодом сфагновом торфе — до 95%, в старом — до 90%, а на осушенных местах соответственно — 92 и 86%.

Обобщая, на основе приведенных и многих других материалов, можно привести следующие величины влажности торфа из залежи в насыщенном водой 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 Торфяной опытной станцией с 1930 г. на болоте Галицкий Мох, единственные в этом роде, систематические наблюдения над «природными монолитами».

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

Обстановка и результаты опыта были следующими:

Глубина залежи 2,85—3,15 м

Состав торфа

Sph. medium 40%
 Sph. parvifolium 20%
 Пушица 21%
 Кора и древесина 10%
 Степень разложения торфа 40%

Глубина основных канав, прорытых в 1928 г., составляла 1,5 м; дополнительные канавы были прорыты в 1930 г.

Достигнутая к августу 1932 г., т. е. через 2 года и 2 месяца после прорытия канав, степень осушения монолитов выражается величинами влажности, приведенными в табл. 22.

Если отбросить из обобщения «природные» монолиты размерами 1×1 м и 1×2 м, которые в производстве никогда не осу-

ществляются и в которых главную роль играет испарение, а не сток, то оказывается, что интенсивнейшая осушка канавами глубиною 1,5 м, образующими между собою площадки 22×39 м, не может снизить содержание воды в сфагново-пушицевом торфе меньше 89%.

Таблица 22

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

Количество выпадающих атмосферных осадков и величины испарения за период опыта приведены в табл. 23.

Таблица 23

Дата наблюдений	Осадки (в мм)	Испарение по Вильду (в 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, глубиною 1,5 м. В августе 1933 г. средняя влажность этих полос составляла (табл. 24):

Таблица 24

Ширина между канавами (в м)	Влажность (в %)
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 другого такого грунта, который в столбах поперечного сечения 1×1 м или в полосах шириною 1 м содержал бы в себе 80% воды. Отсюда ясно, что, несмотря на всю важность осушения торфяной залежи, как меры подготовки к выработке торфа, основная

сушка торфа до 25% содержания влаги, при современной технике торфодобыывания, должна все же осуществляться действием солнца и ветра на выработанные из залежи торфяные кирпичи.

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

Влияние этих факторов было прослежено С. А. Сидякиным [106]. На основании определения влажности залежей, разрабатываемых машинно-формовочным способом на ряде торфоразработок, имеющих длительное осушение, Сидякин вывел величины минимальной влажности торфяной залежи, достигаемой при осушении (табл. 25).

Таблица 25

Влажность осушенного болота

Степень разложения торфа (в %)	Наименьшая влажность, достигаемая осушением (в %)		Степень разложения торфа (в %)	Наименьшая влажность, достигаемая осушением (в %)	
	верхового болота	низинного болота		верхового болота	низинного болота
0	90	85,5	50	87,9	85,9
10	89,7	88,1	60	87,2	84,8
20	89,3	87,7	70	86,3	83,5
30	88,9	87,3	80	85,3	82,0
40	88,4	86,7	90	94,1	80,5

Путем осушения влажность сфагнового торфа достигает 87—89%, а травяного — 85—87%. Наибольшее насыщение сфагнового торфа составляет 92—94%, травяного — 89—91%.

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

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

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

До насыщения приходилось 880 кг. Следо-

вательно, добавочно каждый 1 м³ залежи должен поглотить воды: 1594 — 880 = 714 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 вычисление количества воды, которое необходимо прибавить к 1 м³ торфяной залежи, чтобы увели-

чить содержание воды с w_1 до w процентов, производится по выведенной из существа 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 полуторгового количества 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.

При 93% содержания воды в 1 м³ залежи находится: сухого вещества 70 кг и воды 930 кг. Чтобы содержание сухого вещества сделать 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, $930 - 513 = 417$ кг. Объем залежи при этом уменьшается.

Таким образом, и здесь мы имеем большие величины. Чтобы снизить в торфяной залежи, мощностью в 1 м, содержание влаги с 93 до 88%, надо отвести с каждого 1 м² залежи 417 кг воды; это значит, что с 1 га залежи, мощностью в 3 м, надо отвести:

$$\frac{417 \times 10\,000 \times 3}{1000} = 12\,510 \text{ м}^3 \text{ воды, что соответствует непрерывному стоку в течение всего года } \frac{12\,510\,000}{86\,400 \times 365} = 0,4 \text{ л/сек. с 1 га.}$$

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 виду, что понижение содержания воды в торфянике с 93 до 88% и затем насыщение этого торфяника снова до 93% воды за время весеннего снеготаяния является операциями, практически невозможными.

ГЛАВА III

УРОВЕНЬ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ

Грунтовая вода

В гидрологической и почвоведческой литературе даны различные определения понятия грунтовой воды; среди специалистов смежных дисциплин имеются и противоречивые понимания этого элемента, хотя эти различия в определениях и в понимании проявлены в отношении грунтовой воды в минеральных грунтах, но это лишь потому, что водою в торфяном грунте ни гидрогеологи, ни почвоведы не занимались.

В настоящее время все определения грунтовой воды можно обобщить в две группы, грубо назвав одну из них гидрогеологической, другую — гидромеханической.

К гидрогеологическим относятся следующие определения: «Часть воды, которая просачивается в глубину до непроницаемого слоя, на котором она собирается, называется грунтовой водой» (Раманн)¹.

«Фильтрующая вода просачивается в глубину до тех пор, пока не попадет на непроницаемый слой, где она собирается, образуя грунтовую воду» (Кумм)².

«Грунтовой или подпочвенной водой мы называем воду первого от поверхности водоносного горизонта, расположенного в подпочве или в более глубинных коренных породах, на первом от поверхности водонепроницаемом слое, остающуюся свободной за удовлетворением абсолютной или наименьшей влагоемкости водоносной породы» (Никитин [80]).

«Грунтовые воды представляют те воды, которые покоятся на первом от поверхности водоупорном горизонте» (Ланге)³.

Как видно, в вышеприведенных определениях, названных нами гидрогеологическими, неизменно упоминается о водоупорном слое грунта, а над ним предполагается обязательное наличие проницаемого водоносного горизонта, в котором и находится вода, т. е. разумеется элементарная схема: сверху песок с водой, а под песком — глина. Такое строение грунта, однако, далеко не является преобладающим. Весьма часто начиная с самой поверхности лежит мощный слой глинистой породы, насыщенный водой, или торф в несколько метров толщиной, также насыщенный водой, а под ними песок. По приве-

¹ R a m a n n. Bodenkunde. 1905.

² K u m m A. Das Wasser als Bestandteil des obersten Teils der Erdkruste. В серии «Handbuch der Bodenlehre Herausgegeben von E. Blanck», 1930.

³ Л а н г е О. К. Краткий курс общей гидрогеологии. 1933.

денным определениям вода, пересыщающая торф и суглинок, не подходит под понятие грунтовой воды.

Вторая группа определений грунтовой воды, называемых нами гидромеханическими, является более пестрой.

«Вода, наполняющая промежутки коренных пород, называется грунтовой водой» (Принц)¹. Здесь ясно, что в торфе и суглинке, залегающем непосредственно от поверхности земли, также может содержаться грунтовая вода.

«Поверхность, на которой давление в воде равно внешнему давлению воздуха, мы называем уровнем грунтовой воды в узком смысле» (Кёне)². Это отвлеченное определение конкретнее поясняется Кёне следующим образом: «Уровень грунтовой воды в породе не является какой-либо действительной поверхностью воды, а есть поверхность воображаемая. Ее высота определяется измерением высоты положения зеркала воды в таких скважинах, которые не глубоко погружены в грунтовую воду».

«В насыщенной зоне или зоне грунтовой воды каждая вынутая частица грунта замещается водой (капиллярной); грунтовая вода может быть вычерпываема, тогда как остальные категории воды могут быть изъяты посредством нагревания, давления, центрофугирования» (Кумм).

Почвоведы под грунтовой водой иногда понимают воду, заполняющую свободные от капиллярных сил почвенные промежутки и находящуюся под действием лишь гидростатического давления.

Все четыре последних приведенных формулировки в производственном понимании сводятся к тому, что грунто в а я вода есть вода, которая под действием силы тяжести стекает из грунта в высверленную в нем скважину и заполняет ее до какого-то горизонта; поверхность скопившейся в такой скважине воды, после принятия ею стационарного для данного времени положения, есть уровень грунтовой воды.

Такое понимание грунтовой воды наиболее соответствует требованиям агрономии и лесоводства; именно от грунтовой воды в изложенном понимании зависит рост растения и именно на эту, стекающую в яму и в канаву, воду воздействует мелиоратор.

В высверленную скважину из грунта будет стекать 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 свободная вода насыщает грунт до самой его поверхности, то и в скважине вода установится вровень с поверхностью грунта; если свободной воды в грунте на глубине скважины нет, то и в скважине не должна скопиться вода.

Это является элементарным представлением о грунтовой воде первого горизонта, которым пользуются корни растений, и определение его с помощью смотровых скважин — пока единственный производственный способ определения уровня грунтовой воды

¹ Prinz. Hydrologie. 1932.

² Koehn W. Das Unterirdische Wasser. Handbuch der Geophysik. Herausgegeben von Gutenberg, 1933.

в торфяной залежи и в минеральных грунтах. Однако 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, насыщенным даже 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.

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 колодцем 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 этого песчаного слоя. На одном и том же болоте, в разных частях его, может иметься как водоотводящий, так 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 поэтому является несомненным пьезометром, показывающим 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 выемки торфа, когда заполнение карьера водою при отсутствии стока зависит именно от осредненного гидромеханического давления воды во всех пересекаемых карьером горизонтах; то же самое возникает при суждении о глубине воды в ямах-копаннях, устраиваемых для накопа воды с целью полива растений или в противопожарных целях, при отсутствии водоподводящих каналов.

Если же требуется выявить условия 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.

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 глубиною в 20, 40, 60 см и т. д., с проникновением самой глубокой скважины в под-

стилающий песчаный или глинистый грунт, то горизонты в этих скважинах покажут характер распределения воды в грунте: если во всех скважинах «куста» горизонт воды одинаков, значит в грунте нет особых водонапорных и водопоглощающих прослоек; если же 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 колодцев 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 и стоять здесь выше действительного уровня грунтовой воды; или же испарение из торфяного и глинистого грунта может пойти так интенсивно, что снижение грунтовой воды определит рассасывание воды из скважины. Меров 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 наименьшим и потому быстрее рассасывался при понижении воды в грунте и, наоборот, быстрее восполнялся при поднятии воды в грунте.

Таким образом, все три основные соображения, касающиеся наблюдения грунтовых вод с помощью смотровых скважин, не умаляют значения этого метода наблюдений.

Факторы, действующие на уровень грунтовой воды

Качество фактического материала и общий годовой ход изменений уровня воды. Уровень грунтовых вод на торфяниках систематически наблюдался в СССР во многих пунктах; каждое опытное поле по культуре болот начинает работу с наблюдений уровня грунтовой воды с помощью смотровых колодцев. Однако, почти все эти наблюдения приурочены к пространствам, прорезанным осушительными канавами, и имеют целью выявление действия канав на уровень воды, а затем действия уровня воды на рост растений.

Такие наблюдения, производимые ежедневно на многих колодцах, были начаты в России впервые в 1909 г. в Раменской (Дмитровский район Московской области) и Оршинской (Калининская область) лесных дачах, осушенных еще задолго до начала наблюдений. С 1914 г. были начаты массовые наблюдения грунтовых вод на Минской опытной станции по культуре болот (близ Минска), с 1917 г.— на Новгородской опытной станции, а с 1924 г.— на Рудня-Радовельской опытной станции (УССР), за эти же годы наблюдения велись на многих опорных пунктах по культуре болот.

Прошло, таким образом, 29 лет со времени начала регулярных наблюдений над уровнем грунтовых вод на болотах, но соответствующего материала не получено, так как наблюдения велись боль-

шей частью весьма неудовлетворительно. Однако, общий ход изменения уровня воды на болотах к настоящему времени стал 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.

Однако, далее, в каждой точке поверхности болота уровень грунтовой воды изо дня в день меняет свое положение под воздействием факторов климата и погоды. Климат района обуславливает закономерный сезонный ход изменения уровня грунтовой воды в течение года. Весеннее снеготаяние вызывает весенний подъем уровня воды, летнее испарение обуславливает снижение уровня, а 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 всей зимы.

Наряду с 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 меньше всего — от силы ветра.

Положение уровня грунтовой воды в связи с рельефом местности. Несмотря на определение грунтовой воды как свободной воды в грунте, находящейся под воздействием лишь гидростатического давления или обычно просто под действием силы тяжести, оказывается, что действию силы тяжести противопоставит значительное 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 же оказывается, что грунтовая вода близко следует изгибам поверхности земли: на выпуклом болоте образуется выпуклая поверхность, на подъеме склонов от болота также наблюдается подъем.

Частичное объяснение этого заключается в том, что доминирующее влияние на уровень грунтовой воды имеет испарение, так как величина 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 болота, не прорезанного каналами, в летнее время совершенно мало. Действие испарения настолько сильно, что иногда грунтовая вода образует такие же местные впадины, как и на поверхности земли.

Уровень грунтовой воды под влиянием осушительных канав. Осушительные канавы оказы-

завают 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, освобождая ее от воды, благодаря чему поверхность болота раньше подвергается действию испарения.

Непосредственное же влияние канав и естественных русел выражается в том, что вследствие разности горизонтов воды в русле

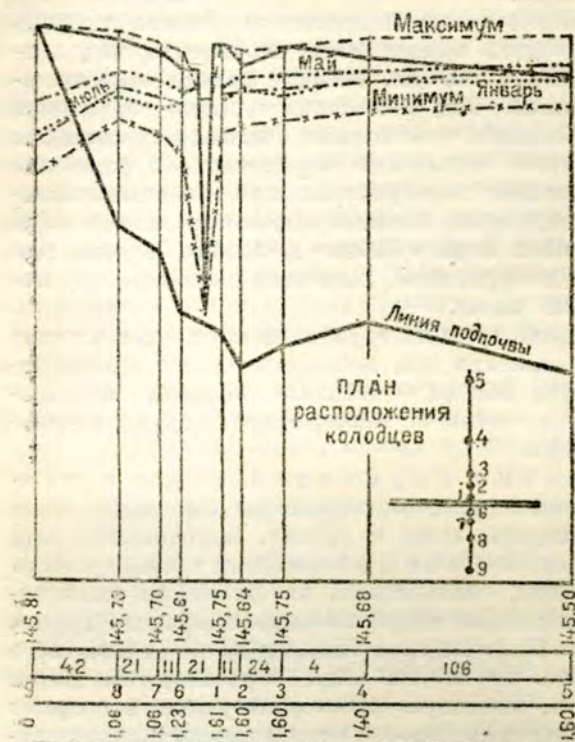


Рис. 5. Профиль уровня грунтовой воды на моховом Оршинском болоте (Калининская обл.).

торфе отводная канава непосредственно снижает уровень грунтовой воды лишь на расстоянии до 20—30 м от канавы, в травяно-сфагновом же торфе действие канавы распространяется на 203 м в сторону от правой канавы и на 245 м — от левой.

Многочисленные наблюдения показывают, что в летнее сухое время действие испарения настолько сильно, что уровень грунтовой воды выравнивается на всей полосе между канавами, образуя плоскость, параллельную поверхности болота. Однако осушение и величина расстояния между канавами оказывают все же существенное влияние на уровень грунтовой воды и в летнее время.

и в торфяной залежи, из последней происходит движение грунтовой воды в русло, в результате чего отмечается снижение грунтовой воды в залежи, увеличивающееся при приближении к канаве и затухающее на некотором расстоянии от нее, 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 дальнейшем, здесь же приведем лишь типовые профили грунтовой воды, уже давно наблюдаемые на Оршинском моховом (рис. 5) и на Раменском переходном (рис. 6) болотах.

Профили показывают, что в сфагновом

торфе отводная канава непосредственно снижает уровень грунтовой воды лишь на расстоянии до 20—30 м от канавы, в травяно-сфагновом же торфе действие канавы распространяется на 203 м в сторону от правой канавы и на 245 м — от левой.

Чрезвычайно важным в разрешении вопроса о том, как влияют осушительные каналы на уровень грунтовой воды в сфагновом торфе, является опыт Торфяной опытной станции, сделанный на болоте Галицкий Мох. Здесь, на специально выделенном для этой цели участке, были прорыты глубокие каналы (1,5 м) при расстояниях между ними в пределах от 1 до 39 м. Различные расстояния между каналами отразились следующим образом на уровне грунтовой воды в августе 1933 г. (табл. 26).

Таблица 26

Расстояние между канавами (в м)	Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)	Расстояние между канавами (в м)	Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)
2	151	16—22	72
4	136	33	47
8	106	39	39

Из приведенной таблицы видно, что действие канав на уровень грунтовой воды в сфагновом болоте очень сильно. Даже незначительные изменения в ширине полос, именно 33 и 39 м, вызывают разницу в уровне грунтовой воды в 8 см. Основное осушение болота Галицкий Мох было произведено в 1928 г., а детальное — в 1930 г.

Сводные указания о количественных взаимоотношениях расстояний между канавами и уровнем грунтовой воды имеется по большому числу пунктов наблюдений. Приведем заключения по нескольким из них, относя их для простоты суждения лишь к средним между канавами скважинам.

По Марьинскому болоту (БССР) безнапорного питания с травяным торфом, за период 1929—1931 гг. уровни грунтовой воды, при расстояниях между канавами в 40 и 150 м, оказались довольно различными; разница за вегетационные периоды для средних скважин составила 21 см (табл. 27).

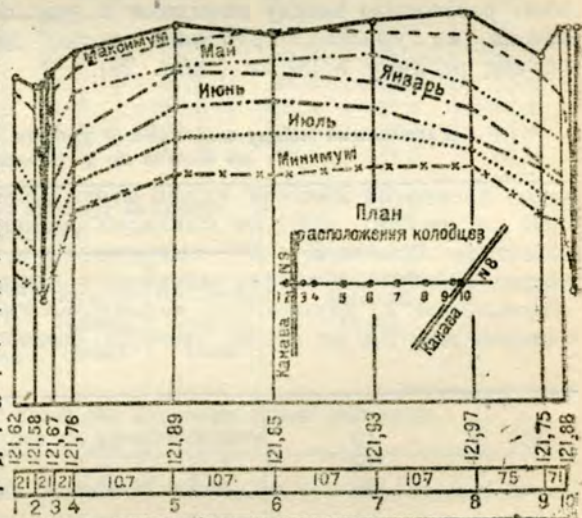


Рис. 6. Профиль уровня грунтовой воды на переходном Раменском болоте (Московская обл.)

Расстояние между канавами и уровни грунтовой воды
на Марьянском болоте

Год	Расстояние между сква- жинами (в м)	Средний уровень грунтовой воды (в см от поверхности болота)					за веге- тацион- ный пе- риод (май — сентябрь)
		весенний (март— май)	летний (июнь— август)	осенний (сен- тябрь— ноябрь)	зимний (де- кабрь— февраль)	за год (кален- дарный)	
1929	40	19,3	85,5	88,4	79,7	78,6	82,2
	150	40,4	65,1	71,0	52,4	58,5	60,9
1930	40	74,7	102,8	77,2	82,4	83,6	95,1
	150	57,1	80,4	65,5	62,5	65,8	77,9
1931	40	33,1	91,1	65,9	62,0	64,2	79,1
	150	16,8	63,0	42,7	43,1	41,7	51,2

По Погонному низинному болоту (БССР) безнапорного питания при расстоянии между канавами 80—160 м, разница в уровнях грунтовой воды в срединных колодцах за период 1932—1934 гг. незначительна, — в среднем всего 7 см.

На низинном болоте Полота (БССР) грунтово-напорного питания, расстояние между канавами в течение 1933—1934 гг. сильно влияло на уровень грунтовой воды, давая за вегетационный период разницу в 29 см (табл. 28).

Таблица 28

Расстояние между канавами и уровни грунтовой воды
на болоте по р. Полота

Год	Расстояние между ка- навами (в м)	Средний уровень грунтовой воды (в см от поверхности болота)				за веге- тацион- ный пе- риод (май— сентябрь)
		весенний (март— май)	летний (июнь— июль)	осенний (сен- тябрь— ноябрь)	зимний (де- кабрь— февраль)	
1933	40	49,0	78,0	81,1	76	72,8
	80	35,8	58,0	55,1	67	52,9
	120	23,4	47,8	52,5	50,7	44,0
1934	40	62,0	93,1	87,8	91,0	91,9
	80	39,9	86,4	89,8	76,0	86,2
	120	35,7	79,9	71,9	63,9	75,5

Приведенные отдельные материалы указывают на значительное влияние осушительных канав на уровень грунтовой воды как на сфагновых, так и на травяных болотах; наиболее показателен был специальный опыт на Редькинском болоте. Однако, было бы оши-

бочно обобщать этот материал и распространять его на все болота и, особенно, пытаться по нему найти количественную связь между уровнем грунтовой воды и расстоянием между канавами.

Большая серия наблюдений, не менее достоверных, показывает, что связь между уровнем грунтовой воды и расстоянием между канавами в пределах 20—100 м, в торфяном грунте не так уже велика, а в ряде случаев и вовсе отсутствует.

На Загальском низинном болоте (БССР) безнапорного питания за 1932—1934 гг., при расстоянии между канавами 20, 40, 60 и 100 м, разницы средней-годовой и за вегетационный период в уровнях грунтовой воды почти не обнаружилось (табл. 29).

Таблица 29

Расстояние между канавами и уровни грунтовой воды на Загальском болоте

Год	Расстояние между канавами (в м)	Средний уровень грунтовой воды (в см от поверхности болота)					за вегетационный период (май—сентябрь)
		весенний (март—май)	летний (июнь—август)	осенний (сентябрь—ноябрь)	зимний (декабрь—февраль)	за год	
1932	20	—	79,7	90,2	99	—	—
	60	—	77,0	84,7	94,4	—	—
	100	—	74,0	82,2	94,5	—	—
1933	20	69	94	50,4	93	77,2	80,8
	60	65,3	87,2	49,5	91,2	73,9	76,4
	100	66,0	87,4	47,5	86,6	73,8	75,5
1934	20	54	81,2	110,5	106,4	86,1	86,1
	60	52,4	78,7	106,9	105,6	83,9	83,9
	100	48,2	76,9	108,2	99,8	81,3	88,8

Такая же незначительная связь между уровнем грунтовой воды и расстоянием между канавами оказалась за 1928—1933 гг. по Яхромскому болотному полю (Московская обл.). Уровень грунтовой воды в срединных скважинах с середины апреля по октябрь включительно оказался здесь на следующих расстояниях от поверхности (табл. 30). Торф имеет здесь глубину от 1,5 до 3,8 м и подстилается суглинком.

Таблица 30

Расстояние между канавами и уровни грунтовой воды на Яхромском болоте

Расстояние между канавами (в м)	Уровень грунтовой воды (в см от поверхности болота)						Средний за 6 лет (1928—1933 гг.)
	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.	
20 и 25	34	54	50	65	61	43	52
50	—	43	39	53	50	34	44
75	48	68	57	80	71	44	61

В отчете Ленинградской зональной мелиоративной болотной станции приводится, на основе материалов этой станции, следующий обобщенный вывод:

1. На глубоких торфяниках, при одинаковой глубине канав и при расстояниях от 21 до 54 м, заметной разницы в уровне грунтовой воды между узкими и широкими деланками не наблюдается.

2. На мелких переходных болотах расстояние между канавами в пределах от 21,2 до 85 м создает в первые годы особый, свойственный каждому расстоянию, режим грунтовых вод; в дальнейшем этот режим имеет тенденцию к уравниванию всех степеней осушения, причем слабо осушенные деланки приближаются по своему режиму к лучше осушенным.

3. На всех типах болот культура сельскохозяйственных растений значительно понижает уровень грунтовых вод, являясь таким образом дополнительным фактором осушения.

Приведенные соображения Ленинградской болотной станции отражают действительное положение и объясняют некоторое разнообразие в результате наблюдений. Эти результаты различны в зависимости от того, задолго ли было произведено осушение, закультивирована ли площадь наблюдений, каково происхождение торфа, какой породой подстилается торф, имеет ли болото напорное питание.

Годовой ход изменений уровня грунтовой воды

Рельеф местности, естественная и искусственная дренажная сеть являются факторами, влияющими на уровень грунтовой воды равномерно в течение всего года и целого ряда лет. Растительный покров влияет более односторонне в течение всего вегетационного периода.

Иначе действует климат. Климат района вызывает закономерный сезонный ход изменения уровня грунтовой воды в течение года. Весеннее снеготаяние обуславливает весенний подъем уровня воды, летняя температура вызывает испарение и снижение уровня; осеннее охлаждение, 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.

Однако всякое болото имеет свой специфичный внутренний гидрологический режим.

Самостоятельный гидрологический режим, независимый от режима реки, имеют верховые сфагновые болота, питающиеся преимущественно от атмосферных осадков и находящиеся вне влияния подпора воды от реки. В иных условиях, конечно, находятся многие низинные и все пойменные болота, заливаемые и подтопляемые речными водами; здесь наивысший горизонт воды на болоте обуславливается наивысшим уровнем в реке, так как болото не имеет своего самостоятельного весеннего режима.

Наряду с сезонным ходом изменения уровень грунтовой воды претерпевает сильные эпизодические колебания под действием тех же влияющих элементов погоды, главным образом — выпадающих

атмосферных осадков, затем температуры воздуха и, повидимому, скорости ветра. Обработка немногочисленного, но более или менее достоверного материала наблюдений по северной части СССР, по Ленинградской, Калининской и Московской областям, по УССР и БССР выявила наиболее вероятные сроки сезонных колебаний уровня грунтовой воды.

Весенний максимум грунтовой воды наступает с наибольшей вероятностью в следующие сроки:

- в Северном районе — во второй декаде мая;
- в Северо-западном районе — в конце апреля и начале мая;
- в Московской области — в третьей декаде апреля;
- в Западном районе — во второй и третьей декадах апреля;
- в Юго-западном районе — с марта по вторую декаду апреля включительно.

В Ровенской области, на болотах района г. Сарны, в 1932 и 1933 гг. максимальный горизонт воды на болотах наблюдался в апреле.

Летний минимум стояния грунтовой воды на болоте устанавливается, как правило, вне влияния реки, так как горизонт воды в реке в летний минимум значительно ниже поверхности болота; относительно же опорных пунктов по культуре болот это условие несомненно. Поэтому все наблюдения летнего минимума могут считаться характеризующими режим болота, вне зависимости от режима реки; в этом заключается отличие его от весеннего максимума, находящегося на некоторых болотах в зависимости от разлива реки.

Наибольшая вероятность летнего минимума грунтовой воды приходится на следующие декады:

в Северном районе — на все декады августа и первую декаду сентября;

в Северо-западном районе — на третью декаду июля и первую декаду августа (нередко также — на середину июля и вторую и третью декады августа);

в Московской области — на третью декаду августа и первую декаду сентября;

в Западном районе — на август и первую декаду сентября.

В Юго-Западном районе летний минимум весьма растянут по времени, что обусловлено разнородностью питания болот. Минимум здесь нередко отмечается в конце июля, в середине августа (сфагновые болота) и в первой половине сентября.

В Ровенской области, в районе г. Сарны, в 1932 и 1933 гг. минимальный горизонт воды на болотах наблюдался в июле и августе.

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.

Наибольшая вероятность осеннего максимума грунтовой воды приходится на следующие декады:

- в Северном районе — на все декады октября;
- в Северо-западном районе — на вторую декаду октября;
- в Калининском районе — на вторую декаду ноября;

в Московской области — на вторую декаду ноября;

в Западном районе — на вторую декаду ноября;

в Ровенской области, в 1933 и 1934 гг. — в октябре.

В Юго-западном районе вероятность наступления осеннего максимума одинакова в течение всего ноября и в первую и вторую декады декабря.

Преобладающее влияние уменьшения испарения, а не увеличения атмосферных осадков на уровень грунтовой воды осенью можно видеть из сопоставления месячных величин осадков и температур.

Атмосферные осадки и температуры воздуха близ Ленинграда, по данным обсерватории Лесотехнической академии¹, в среднем за 1890—1925 гг. приведены в табл. 31.

Таблица 31

Месяц	Осадки (в мм)	Температура воздуха (в град.)
Май	46,1	90°,8
Июнь	69,3	14°,5
Июль	63,5	17°,2
Август	83,4	14°,8
Сентябрь	70,6	9°,8
Октябрь	57,3	4°,2
Ноябрь	48,3	—1°,4

Летний минимум грунтовой воды в Ленинградской области наиболее вероятен, как уже указывалось, в конце июля и в начале августа; это как раз совпадает с периодом высоких температур воздуха и средних осадков. Осенний же максимум наиболее вероятен во второй декаде октября — в период небольших осадков и низких температур, когда испарение мало.

З и м н и й м и н и м у м. В зимнее время наблюдений над уровнем грунтовой воды в смотровых скважинах обычно не производилось; вода замерзает, и скважины заносятся снегом. В пунктах, где эти наблюдения велись, точность их не велика.

Наибольшая вероятность зимнего минимума уровня грунтовой воды приходится:

в Московской области — на вторую и третью декады февраля, но нередко и во второй половине марта;

в Западном районе — на первую и вторую декады февраля, но часто также во второй и третьей декадах марта;

в Юго-западном районе минимум чаще всего приходится на все декады января, но нередко — в конце февраля и в начале марта.

В Ровенской области зимний минимум в 1933 и 1934 гг. был в январе и феврале.

Сроки наибольшей вероятности наступления максимумов и минимумов уровня грунтовой воды сведены в табл. 32.

Сводная таблица указывает на правильный сдвиг весеннего максимума с марта в Юго-западном районе до середины мая — в Север-

¹ В. Н. Оболенский. Климат Лесного.

Наибольшая вероятность наступления максимумов и минимумов уровня грунтовой воды на болотах

Район	Весенний максимум	Летний минимум	Осенний максимум	Зимний минимум
Северный . .	Май (2-я декада)	Август (все декады) и сентябрь (1-я декада)	Октябрь (все декады)	—
Северо-западный . . .	Май (1-я декада)	Июль (3-я декада) и август (1-я декада)	Октябрь (2-я декада)	—
Московская область . .	Апрель (3-я декада)	Август (3-я декада) и сентябрь (1-я декада)	Ноябрь (2-я декада)	Февраль (2-я и 3-я декады), нередко март
Западный . .	Апрель (2-я и 3-я декады)	Август (все декады) и сентябрь (1-я декада)	Ноябрь (2-я декада)	Февраль (1-я и 2-я декады), нередко март
Юго-западный	Март (все декады) и апрель (1-я и 2-я декады)	Конец июля, август, начало сентября	Ноябрь (все декады) и декабрь (1-я и 2-я декады)	Январь (все декады), нередко конец февраля и начало марта

ном. Правильный сдвиг имеется также и в осеннем максимуме — на севере он наступает на четыре декады раньше, чем на юге.

Совершенно специфичен годовой режим грунтовых вод в Колхидской низменности (Закавказье), в долине р. Рион и смежных рек — Хопи и Супсы. Отсутствие резко выраженных времен года — осени, зимы и весны, обилие выпадающих атмосферных осадков и отсутствие снежного покрова являются причиной того, что годовой ход грунтовых вод здесь совершенно иной, чем в других районах. Выпадение осадков в течение всего года создает пики уровня грунтовой воды во все сезоны года.

Отметим следующие основные характеристики грунтовых вод для Колхидской низменности, относящиеся к 1930—1934 гг.

1. Максимальные уровни грунтовой воды чаще всего наступали: в первой декаде июля, в середине сентября и в первой декаде октября. Однако максимумы попадали и на другие месяцы, кроме марта и мая.¹

2. Низшие уровни грунтовой воды чаще всего приходились на все декады мая и 1-ю и 2-ю декады июня, а затем на 1-ю и 2-ю декады декабря.

3. Самый неустойчивый уровень грунтовой воды в Колхидской низменности наблюдается в июле; в этом месяце часты максимумы, но нередки и минимумы; наиболее устойчивый уровень отмечается в марте и апреле.

К числу важнейших методических вопросов относится рассмотрение:

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

Типы смотровых скважин. Основное требование, которому должна удовлетворять смотровая скважина, чтобы показания ее наиболее соответствовали действительному положению уровня воды в торфе, состоит в том, чтобы поперечное сечение ее было наименьшим. При малом диаметре быстрее рассасывается вода из скважины в грунт при сильном испарении с поверхности земли и, наоборот, скорее происходит наполнение скважины при поднятии уровня свободной воды в грунте.

Глубина скважин должна быть минимальной, однако она должна обязательно доходить до самого низкого уровня грунтовой воды на болоте; при излишней глубине скважина показывает гидромеханическое давление воды в слое грунта, в котором находится дно скважины, а если дно ее будет в песке, то уровень воды в скважине будет выше или ниже уровня свободной воды в торфе, в зависимости от того, напорная или безнапорная вода в песке. Так как амплитуда колебаний уровня грунтовой воды в торфе превышает 1 м, то, повидимому, следует устраивать рядом две скважины: одну глубиною 0,75 м, другую — глубиною 1,5 м.

Рис. 7. Наконечник смотровой скважины.

Смотровые скважины устраиваются двух основных типов. Простейшим устройством для наблюдений уровня грунтовой воды является высверленная спиральным или тарелочным буравом скважина, диам. 10—15 см и глубиной 1,5 м, без последующей обделки стенок. Показания скважины без обделки стенок являются наиболее соответствующими действительному стоянию воды в грунте; поэтому такие скважины, несмотря на деформации их, заслуживают распространения.

Вторым типом является смотровая скважина в виде опущенной в торфяной грунт прямоугольной трубы, сколоченной из деревянных пластин; в стенках трубы высверливаются отверстия или делаются продольные щели для прохода воды. Для опускания этих труб сначала роется на возможную глубину яма, а затем труба углубляется ниже дна ямы вколачиванием; предварительно труба насаживается на заостренный отрубок (рис. 7), который предохраняет трубу от заполнения торфом. Верхний конец трубы устанавливается на уровне поверхности болота или возвышается над ним на 0,5 м. После установки трубы вырытая яма заполняется торфом с небольшим уплотнением. Расстояние до уровня грунтовой воды измеряется от верхнего торца одной из пластин. У каждого колодца должны быть положены жерди для наблюдателя.

Смотровые скважины могут быть также сделаны из железных труб с просверленными отверстиями; острый наконечник, приделанный к трубе, дает возможность вбивать ее в грунт. В Закавказье для скважин начали употреблять бамбуковые трубы.

При устройстве смотровых скважин за уровень поверхности верхового болота, образованный рыхлым сфагнумом и покрытый мягкими кочками, следует принять тот горизонт, на котором устанавливается короткая доска, положенная между моховыми кочками и придавленная весом человека.

С п о с о б ы н а б л ю д е н и й. При стояниях уровня воды до 0,75 м и ниже поверхности торфа наиболее простым и удобным прибором для измерения расстояния от фиксированного горизонта (головка свайки и др.) до воды является деревянная линейка, размеченная на дециметры, сантиметры и миллиметры. Момент прикосновения конца линейки к поверхности воды определяется на глаз. При расстоянии воды свыше 1 м от поверхности земли измерение простой линейкой становится неточным и для таких глубин предложена рейка Грамматина и Савкина. Рейка сконструирована с использованием известного физического явления. На горло стеклянной воронки насажена каучуковая трубка, другой конец которой надет на коленчатую стеклянную трубочку с каплей воды в колене. Эту аппаратуру прикрепляют к рейке с делениями, помещая воронку в нижнем конце рейки, а коленчатую трубку — в верхнем. При погружении рейки в колодец, как только края воронки опустятся в воду, в воронке произойдет сжатие воздуха, и капля воды в коленчатой трубке дрогнет; при этом положении рейки по делениям на ней производится отсчет глубины.

Еще более простое устройство представляет собой металлический полый шар, плавающий на поверхности воды; от шара-поплавка вверх идет толстая проволока, проходящая через отверстие в крышке на колодце, получая этим устойчивое вертикальное положение. Конец проволоки меняет свое высотное положение соответственно колебаниям уровня воды в скважине; проволока скользит по шкале, прикрепленной к скважине, или же положение конца проволоки над зафиксированным горизонтом определяется линейкой.

Для непрерывной фиксации уровня воды в смотровой скважине служит прибор-самописец (лимниграф).

Во всех случаях горизонты, от которых измеряется расстояние до уровня воды в каждой скважине, должны быть связаны между собой надежным репером и нивелировкой, повторяемой ежегодно.

Все описанные приборы измеряют расстояние от поверхности болота до уровня воды в колодце. Однако, как уже выше указывалось, еще не выяснено, 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 приборы такого типа еще не вышли из стадии испытаний.

Кроме возможности сомнения в существовании показаний 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 (Горки, БССР), что ночью вода поступала из грунта в канаву и создавала по дну ее течение, а днем, при поднятии барометра, выход воды из грунта прекращался.

Сравнительные наблюдения в скважинах. Вопросы методики наблюдений, а именно: выявление значения глубины колодца, его обделки и общей надежности показаний колодцев, стояли в программе ряда исследовательских 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, были заложены дополнительные мелкие колодцы, с дном в торфяном грунте.

Наблюдения показали, что в колодцах, заложенных в минеральном грунте, уровень воды в течение всего периода наблюдений стоял ниже, чем в соседних, мелких колодцах, с дном в торфяном грунте; минеральный грунт оказался на данном участке безнапорным, дренирующим. Величина понижения уровня варьировала с общим изменением уровня грунтовой воды. В паводок уровни были совмещены; при низких летних стояниях уровня разница составляла 2—3 см в середине делянки, между канавами, и 15—20 см — около канавы. Зимой разница показаний оказалась еще большей, достигая 10 см в середине делянки и 20—30 см — у канавы. Увеличение разности показаний в колодцах близ канавы свидетельствует, повидимому, о том, что фильтрация грунтовой воды в канаву происходит не непосредственно по торфу, а через минеральный подстилающий грунт.

В Сиверском леспромхозе, в 22-м квартале Онцевской дачи, в 1931 г. было произведено сопоставление показаний колодцев, необделанных и обделанных. Для этого в июне 1931 г. было устроено 24 опытных колодца, глубиной по 1 м, из которых 12 представляли собой просто высверленные тарелочным буром скважины, а 12 других — колодцы в виде деревянных, сколоченных из пластин, труб, нижние концы которых были закрыты; часть колодцев была снабжена крышками, часть их не имела, некоторые колодцы были окружены глиняной стенкой (замком), а другие оставлены без замка.

Наблюдения с 20 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.

Такой же опыт был произведен также в 30-м квартале той же дачи, где в 1931 г. было устроено 6 колодцев без обделки и 6 колодцев

в виде труб из деревянных пластин; грунт — глина. За время наблюдений с 5/VII по 30/X оба типа колодцев дали одинаковые результаты.

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

Надежность показаний скважин. Когда скважина высверлена целиком в глине, 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 почво-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, возможно, поднялась от выпавших осадков, а в скважину эта вода не просачивается.

Такое сомнение получило как бы 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 свежевырытой яме воды не оказалось.

Это обстоятельство побудило автора сделать специальные опытные наблюдения. Рядом с первоначальными смотровыми скважинами 1928 г. в августе 1929 г. были высверлены новые скважины и произведено сопоставление уровня воды в 42 парах старых и новых скважин через 1 сутки, через 6 суток, а в некоторых скважинах — через 12 суток после их высверливания. Дождя за время опыта в течение 12 суток не выпадало. Наблюдения показали следующее.

В песчаном грунте уровни воды в скважинах, при наблюдении через 1 сутки после их высверливания, оказались на одной высоте с уровнями в старых скважинах.

В торфяном грунте через 1 сутки горизонты воды оказались также выровнявшимися.

В скважинах в глинистом грунте результаты оказались разнообразными, но в обобщении разница уровней воды в старых и новых скважинах выразилась величинами: через 6 дней после высверливания скважин — 12,4 см, через 12 дней — 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 вода отсутствовала, 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 деленочных (осадочных) глин Лисинского леспромхоза, сообщается с водою почво-грунта, а не изолирована от нее, как это могло казаться [47]. На полевых же землях, где нет древесных корней, показания скважин в глинистых грунтах, как это отмечено наблюдениями 1936 г., не всегда соответствуют действительному уровню гравитационной воды в грунте.

ГЛАВА IV

ПАДЕНИЕ УРОВНЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ В ПЕРИОДЫ БЕЗДОЖДЯ

Массовый материал наблюдений над грунтовыми водами дал возможность установить сроки весенних и осенних максимумов, летних и зимних минимумов уровня. Но материалы различных наблюдений приобретают наиболее полезное применение тогда, когда они, помимо качественной и количественной констатации, обнаруживают количественную связь между явлениями, и особенно между явлениями, проходящими последовательно во времени.

При имеющихся разнородных материалах наблюдений, то ежедневных, то через интервалы, обработка их неизбежно оказалась разнородной. В отношении вертикальной динамики грунтовой воды имеют значение следующие характеристики:

1. Суточные снижения уровня грунтовой воды в периоды бездождя, в связи с прочими действующими факторами.

2. Поднятия уровня грунтовой воды после выпадения дождя, в количественной связи высоты поднятия уровня и высоты осадков.

3. Динамика уровня грунтовой воды за пятидневные сроки в результате суммарного действия метеорологических факторов и высотного положения уровня.

Сводные величины суточного снижения уровня

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

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 величин снижения — на испарение.

Однако такого расчленения на действие испарения и действие стока пока произвести нельзя, поэтому приходится ограничиваться

заведомо неверной постановкой вопроса: найти связь между температурой воздуха и суточным снижением уровня грунтовой воды на болоте в бездождные периоды.

Суточное испарение и суточный сток зависят, кроме того, от расстояния уровня грунтовой воды от поверхности; чем дальше вода от поверхности, тем меньше испарение и сток.

Не расчленяя первоначально материала, в зависимости от действующих факторов, обработка ежедневных наблюдений над уровнем грунтовой воды за май — октябрь дала следующие средние величины суточного снижения уровня грунтовой воды за периоды бездождия:

1. На сильно осушенном Замошском опорном пункте (Ленинградская область), по 9 колодцам, за 1924—31 гг. Болото осушено с расстоянием между канавами 32—54 м	19,5 мм
2. На сильно осушенном Погонном болоте (БССР), за 1931—34 гг.	19,2 мм
3. На средне осушенном Онцевском лесном участке, по 33 колодцам в 1934 г.; сосна по сфагновому болоту; средняя мощность торфа 35 см, разложение слабое; подстилается суглинком и синей глиной. Осушение с расстоянием между канавами 200 м	18,0 мм
4. На осушенном болоте Шишев (УССР), за 1927—31 гг.	18,0 мм
5. На сильно осушенном сфагновом болоте близ г. Архангельска по 40 колодцам, за 1928—32 гг.	15,1 мм
6. На сильно осушенном Волховском опорном пункте, по 8 колодцам, за 1926—32 гг. Болото осушено с расстоянием между канавами 25—100 м	14,0 мм
7. На сильно осушенном болоте Новгородской опытной станции, по 6 колодцам, за 1930—33 гг. Болото осушено с расстоянием между канавами 15—30 м; закультивировано	13,5 мм
8. На слабо осушенном Оршинском сфагновом болоте, за 1909—16 гг. Расстояние между канавами около 1,00 м	13,3 мм
9. На сильно осушенном Яхромском болоте, по 14 колодцам, за 1928—33 гг. Расстояние между канавами 20—75 м.	16,1 мм
10. На сильно осушенном сфагновом болоте у г. Кобулет (Груз. ССР), за 1934—35 гг.	14,5 мм
11. На слабо осушенном Раменском переходном болоте, за 1909—13 гг. Расстояние между канавами 0,70—1,00 м.	11,7 мм
12. На осушенном Загальском низинном болоте (БССР), за 1932—34 гг.	10,9 мм
13. На сильно осушенном Марьинском низинном болоте (БССР), за 1928—32 гг.	10,4 мм
14. На неосушенном Токсовском сфагновом болоте, в 1933 г., по наблюдениям ГГИ	6,3 мм
15. На неосушенном сфагновом болоте Гладкое (в 50 км к ЮЮВ от г. Ленинграда), за 1934 г.	6,0 мм

На осушенных болотах среднее суточное снижение уровня за май — октябрь в бездождные периоды находится в пределах от 19,5 до 10,4 мм, а на неосушенных — в пределах от 13,3 до 6,3 мм, т.е. значительно ниже. Средняя величина суточного снижения уровня грунтовой воды для осушенных болот оказывается равной 15,2 мм, для неосушенных — 9,3 мм.

Совершенно очевидно, что эти величины весьма ориентировочны. Величина суточного снижения в бездождный день зависит от многих факторов: температуры, расстояния уровня грунтовой воды от поверхности, ветра, стока, рода торфа и степени его разложения, расти-

тельного покрова и рода водного питания болота (атмосферное, грунтово-напорное).

Несмотря на разнообразие действующих факторов, полученные осредненные величины за май—октябрь все же оказались достаточно близкими друг другу для разных болот, и величины эти существенно важны для будущего прогноза гидрологического режима болот.

Косвенными методами можно приблизительно расчленить приведенные величины суточного снижения уровня грунтовой воды на два слагаемых: 1) от испарения и 2) от стока.

По материалам главы VII («Испарение с болот») можно видеть, что суточное испарение воды из приборов Рыкачева с сфагновой поверхности в летние месяцы равно 1—2 мм; без достаточной точности испарение за май—октябрь можно принять равным 0,8 мм в сутки со сфагнового болота и около 1,4 мм — с низинного. Принимая скважность торфяных грунтов во влажном состоянии в 6—9% [110], вычисляем, что 1 мм испарения воды вызывает снижение грунтовой воды максимум на $1 \times 13 = 13$ мм, при неверном условии, что испарение идет исключительно за счет грунтовой воды; учитывая же, что испарение происходит также за счет воды влагоемной, величину снижения уровня грунтовой воды при испарении 1 мм воды следует снизить примерно на 25%, т. е. до 10 мм.

Средний сток с болот за вегетационный период в Ленинградской области равен около 0,06 л/сек. с 1 га; за сутки это дает высоту столба стока 0,52 мм свободной воды; при указанной выше скважности торфа 6—9% это дает суточное снижение уровня грунтовой воды $0,52 \times 13 = 6,7$ мм; поправку на сток влагоемной воды вводить не следует, так как стекает лишь гравитационная вода.

Складывая исчисленные 10 мм суточного снижения уровня грунтовой воды под влиянием испарения и 6,7 мм суточного снижения под влиянием стока, получаем сумму 16,7 мм, близкую к средней высоте суточного снижения уровня грунтовой воды на осушенных болотах (15,2 мм).

Значение температуры воздуха

Первым уточнением приведенных ориентировочно средних величин суточного снижения уровня грунтовой воды является расчленение материала на группы, по температуре воздуха за периоды понижения. Суточное снижение уровня грунтовой воды в зависимости от средней суточной температуры воздуха приведено в табл. 33.

Из данных табл. 33 ясно видно, что чем выше суточная температура воздуха, тем интенсивнее идет суточное снижение уровня грунтовой воды в бездождевые периоды. Наилучшие результаты при большом числе наблюдений получаются для Замошского опорного пункта, наблюдения по которому вообще наиболее надежны. Этот же материал дает хороший пример для уяснения результатов математической обработки данных в зависимости от методики обработки.

Суточное снижение уровня грунтовой воды

Пункт наблюдений	Средняя суточная температура									
	1-5°	6-10°	11-15°	16-20°	21-25°	1-5°	6-10°	11-15°	16-20°	21-25°
	Суточное снижение уровня (в мм)					Число наблюдаемых случаев				
Новгородская болотная станция										
Расстояние между канавами										
10-15 м	7,5	14,6	13,8	14,4	—	2	8	6	8	1
То же, 20-30 м	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
То же, 42-54 м	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
То же, 50 м	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										
—	—	—	16,6	18	—	—	—	2	3	—
Оршинское болото										
Низина, в 190 м от канавы	7,2	5	8,2	9,4	15,0	6	6	14	19	2
Средняя полоса, в 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 торфе)										
Низина, в 245 м от канавы	6	8	9	11	18	3	4	10	11	1
То же, в 138 »	6	7	7	12	14	3	3	9	13	1
» в 106 »	11	10	14	18	24	1	3	9	6	1
Раменское болото (неосушенная часть, линия 1)										
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

Таблица 33 (окончание)

Пункт наблюдений	Средняя суточная температура									
	1—5°	6—10°	11—15°	16—20°	21—25°	1—5°	6—10°	11—15°	16—20°	21—25°
	Суточное снижение уровня (в мм)					Число наблюдаемых случаев				
Архангельское опытное поле										
Расстояние между канавами, 10 м (кол. № 51)	10	9	15	18	12	—	—	—	—	—
То же, 30 м (кол. № 37)	5	7	14	21	22	—	—	—	—	—
То же, 21 » (кол. № 24)	21	20	23	17	15	—	—	—	—	—
То же, 53 » (кол. № 5)	16	16	17	17	10	—	—	—	—	—
Яхромское опытное поле										
Расстояние между канавами, 20 м	15	5	16	12	20	1 кол.				
То же, 25 м	11	10	16	18	20	5 кол.				
• 50 »	11	11	18	19	19	2 кол.				
• 75 »	14	13	18	21	26	6 кол.				

Если взять по Замошскому болоту данные табл. 33 и соединить обе строки, взяв средние значения, то для этого болота получим следующие величины (табл. 34).

Таблица 34

Средняя суточная температура, t	Среднее суточное снижение уровня грунтовой воды, h (в мм)
1—5°	11,5
6—10	16,5
11—15	20,0
16—20	23,6

Построив график по полученным осредненным связям суточного снижения уровня грунтовой воды и суточной температуры, получаем почти прямую линию, что указывает на самую совершенную связь (рис. 8).

Коэффициент корреляции между h и t вычисляется из табл. 34 равным: $r = +0,99$, величина которого еще раз

подтверждает наличие наиболее совершенной связи между h и t .

Уравнение регрессии:

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

где h — суточное снижение грунтовой воды, в мм,

t — средняя суточная температура воздуха.

Однако полученная связь между h и t нарушится, если на график нанести не осредненные значения, а все непосредственно наблю-

денные 133 пары взаимных значений h и t (рис. 9). В этом случае нанесенные на график точки получают достаточно рассе-

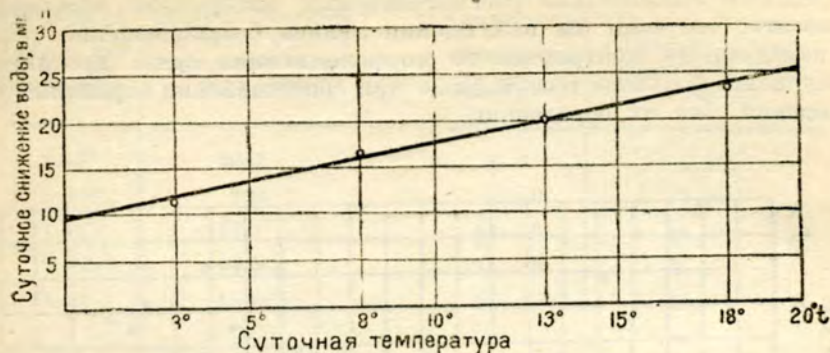


Рис. 8. График зависимости осредненных значений суточного снижения уровня грунтовой воды (h) от температуры (t).

янными, и провести на-глаз по ним прямую линию невозможно. Коэффициент корреляции при этом будет равен $r = +0,37$, что указывает на незначительную связь между h и t . Уравнение регрессии

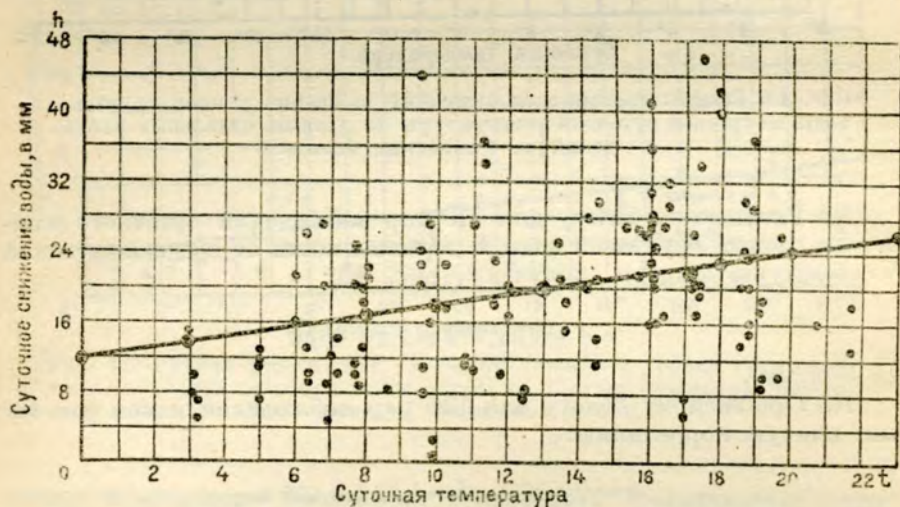


Рис. 9. График зависимости суточного снижения уровня грунтовой воды от средней суточной температуры по данным отдельных наблюдений на Замошском болоте.

получается: $h = 11,85 + 0,61 t$; по численным результатам оно 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.

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

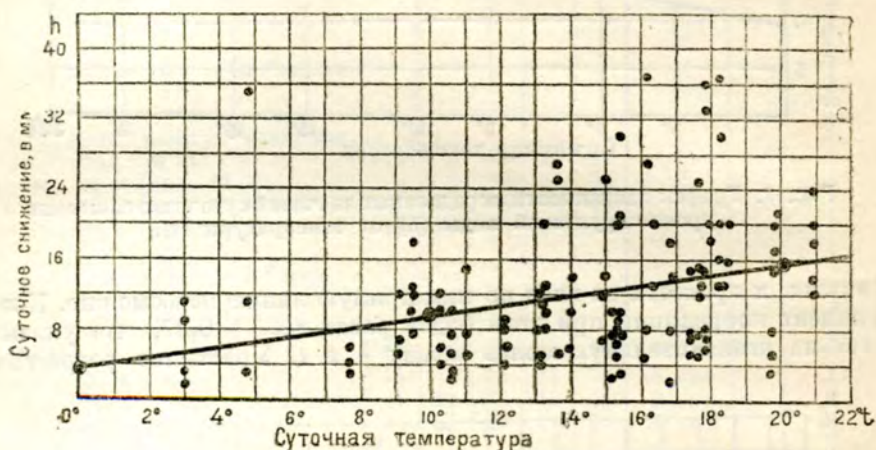


Рис. 10. График зависимости суточного снижения уровня грунтовой воды от средней суточной температуры по данным отдельных наблюдений на Раменском болоте.

По Раменскому болоту для 140 пар наблюдений суточного снижения уровня грунтовой воды h , в зависимости от средней суточной температуры воздуха, получено (рис. 10):

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

(h — в мм).

По Оршинскому болоту для 126 пар наблюдений имеем еще более плохую корреляцию:

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

Соответствующий график (рис. 11) показывает действительно слабую зависимость h от t .

Для Волховского опорного пункта осредненные величины h и t из 139 пар наблюдений приведены в табл. 35.

Для Новгородской болотной станции осредненные величины h и t из 49 пар наблюдений даны в табл. 36:

Группировка по месяцам. По некоторым болотам не имелось данных о средней суточной температуре; поэтому здесь

Таблица 35

Средняя су- точная тем- пература, t	Среднее суточное снижение уровня грунтовой воды, h (в мм)
1—5°	10,7
6—10	9,8
11—15	13,7
16—20	14,5
21—25	14,0

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

Таблица 36

Средняя су- точная тем- пература, t	Среднее суточное снижение уровня грунтовой воды, h (в мм)
1—5°	6,5
6—10	13,2
11—15	14,0
16—20	14,0
21—25	17,0

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



Рис. 11. График зависимости суточного снижения уровня грунтовой воды от средней суточной температуры по данным отдельных наблюдений на Оршинском болоте.

взамен температуры приходится производить сопоставление понижения уровня грунтовой воды в бездождные периоды с временем наблюдений и группировать эти наблюдения по календарным месяцам. Месяцы весны, лета и осени специфичны по своей средней температуре, и она должна отражаться на темпе уровня снижения грунтовой воды.

Суточные снижения уровня грунтовой воды в бездождные периоды по календарным месяцам приведены в табл. 37.

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

Суточное снижение уровня грунтовой воды (в мм)

Пункт наблюдений	Число лет наблюдений	Месяцы						
		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Токсовское болото (Ленинградская область)	2	3,4	6	7,5	9	8,5	3,5	—
Марьинское болото (БССР)	5	—	19	41,1	16	7	7,4	6,4
Загальское болото (БССР)	3	—	10,5	21,1	15,6	15,7	7,9	6,1
Погойное болото (БССР)	4	—	23,0	26,4	28,1	15,9	14,5	11,7

Значение исходного положения уровня грунтовой воды

Чрезвычайная рассеянность точек на графиках связи понижения уровня с температурой и малые величины вычисленных по первичным материалам коэффициентов корреляции указывают, что помимо температуры, на темп снижения уровня грунтовой воды большое влияние имеют и другие факторы, к которым относится в первую очередь расстояние уровня грунтовой воды от поверхности. Это расстояние в обработанных материалах находится в пределах от 0 до 1,3 м ниже поверхности, что, конечно, весьма искажает влияние температуры.

Поэтому вторым уточнением обработки материалов является разложение их на группы по исходному расстоянию уровня воды от поверхности в первый день бездождного периода. Естественно ожидать, что чем ниже уровень воды от поверхности, тем медленнее идет его дальнейшее снижение: уменьшается как испарение, так и сток.

Распределение материала в группы с интервалами величин исходных расстояний по 10 см дает средние величины суточных снижений уровня, приведенные в табл. 38.

Анализируя данные табл. 38, можно заметить, что наибольшее суточное снижение грунтовой воды на слабо осушенных болотах происходит не при самом близком стоянии уровня от поверхности болота, а при каком-то удалении от нее, разном для различных болот; в таблицу включены данные по сильно и слабо осушенным болотам, по сфагновым и низинным; поэтому известный «разнобой» неизбежен.

Наибольшее число случаев максимальных суточных снижений грунтовой воды на слабо осушенных болотах приходится на момен-

ты стояния уровня грунтовой воды в 30—50 см от поверхности болота, а совсем не на ближайшем от нее расстоянии. Объясняется это, повидимому, очень просто. Одна и та же интенсивность суточного испарения, измеряемая высотой слоя свободной воды, вызовет тем большее понижение уровня грунтовой воды, чем плотнее торф, из которого происходит испарение.

С удалением от поверхности болота плотность торфа увеличивается, а пористость его, следовательно, уменьшается; особенно это резко выражено на сфагновых болотах при наличии мощного очеса. Поэтому, с удалением уровня грунтовой воды от поверхности, та же интенсивность испарения вызовет большее снижение уровня грунтовой воды, чем при стоянии его близ поверхности. Однако на некоторой глубине должен иметься горизонт перелома, так как интенсивность испарения снижается с удалением уровня воды от поверхности: чем ниже уровень воды, тем труднее капиллярное поднятие.

Совершенно аналогично и действие стока. При близком расстоянии уровня воды от поверхности болота объем стока с последнего больше, но каждый 1 м³ стока вызывает некоторое, небольшое снижение горизонта грунтовой воды, так как пористость верхнего слоя торфа велика. При понижении уровня воды объем стока уменьшается, но уменьшается и пористость торфа, поэтому каждый 1 м³ стока вызывает относительно все большее и большее снижение уровня грунтовой воды. На некоторой глубине, зависящей от распределения плотностей торфа, наступает максимум суточного снижения под влиянием стока, как и под влиянием испарения.

Глубину эту, которая по грубо приближенным данным таблицы находится в пределах 30—50 см, назовем *переменной глубиной*.

Из вышеизложенного ясно, что связь между суточным снижением и расстоянием уровня грунтовой воды от поверхности не может быть выражена прямой линией, как это упрощенно делалось автором ранее [41].

Особенно отчетливо выявились переломные горизонты грунтовой воды на Раменском болоте, по 8 скважинам из 9 приведенных, а также по Ондескому и Токсовскому болотам; хуже, но все же довольно четко они выявились на Оршинском и Волховском болотах. Совсем иначе снижение уровня происходило на Погонном болоте: здесь максимумы суточного снижения наблюдаются при близких от поверхности горизонтах воды. Болото это низинное, но если отбросить крайние левые цифры, то остающиеся ряды цифр ясно указывают на наличие на болоте второго горизонта максимума снижения, т.е. также на наличие горизонта перелома.

В табл. 38 включены также данные по Марьинскому и Загальскому осушенным болотам, на которых уровень воды стоял вообще ниже переломной глубины. На этих болотах суточное снижение уровня воды в бездождные периоды правильно уменьшается с увеличением расстояния от поверхности, что дает возможность вычислить связь между рассматриваемыми элементами по уравниванию прямой линией.

Суточные снижения уровня грунтовой воды

Пункт наблюдений	Число нар- наблюдений	Исходные расстояния уровня от поверхности (в 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 уровня грунтовой воды за сутки (в мм)													
Новгородская болотная станция															
Расстояние 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 (Ленинградская область)															
Расстояние 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	8,3	20,7	19,2	19,0	17,7	—	14,0	—	—	—	—
Волховский опорный пункт (Ленинградская область)															
Расстояние 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 участок (Ленинградская область)															
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 (Ленинградская область)															
—	—	11	12	—	23	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Оршинское болото (Калининская область)															
Пизина, в 190 м от канавы	47	5,4	5,9	8,7	15,0	18,5	17,0	1,6	10	—	—	—	—	—	—

Средняя, полоса в 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	—	—	—	—	—	—	—
Торфяная опытная станция на болоте Галицкий Мох (Калининская область)																
За 1928—1930 гг.	27	—	—	20,0	—	—	17,6	15,4	14,6	9,6	—	—	—	—	—	—
Раменское болото (Московская область)																
Пизина, в 245 м от канавы	26	—	7,4	12	13	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Расстояние 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)																
Расстояние от канавы 50 м	22	—	—	—	—	22,4	—	16,3	12,4	5,9	6,2	3,1	3,3	—	—	—
» » » 50 »	25	—	—	—	—	28	—	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	—	—
Погорное болото (БССР)																
Расстояние 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	—	—
Архангельское опытное поле																
Расстояние между канавами 53 м	—	—	38,4	31,8	18,9	15,2	11,2	9,1	4,8	—	—	—	—	—	—	—

По Марьинскому осушенному болоту, непосредственно по 44 обработанным парам наблюдений, имеем (рис. 12):

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

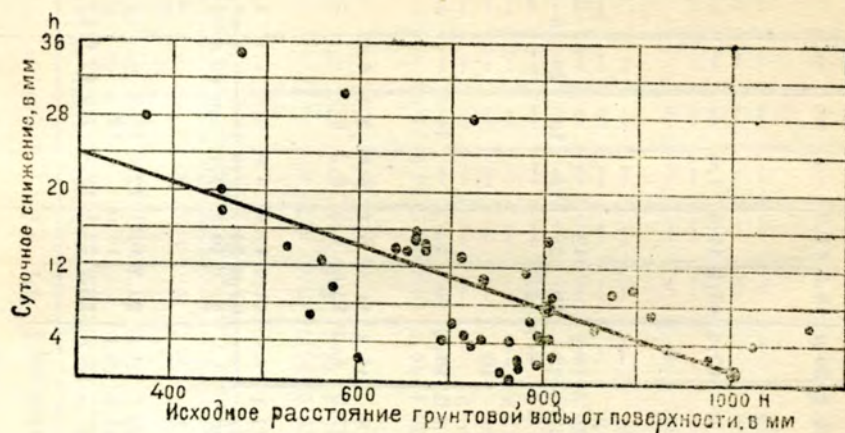


Рис. 12. График зависимости суточного снижения грунтовой воды от исходного положения уровня на Марьинском болоте.

По Загальскому осушенному болоту, непосредственно по 76 обработанным парам наблюдений, имеем (рис. 13):

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



Рис. График зависимости суточного снижения грунтовой воды от исходного положения уровня на Загальском болоте.

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

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

По Марьинскому болоту $h=0$, при $H=1,04$ м.

По Загальскому болоту $h=0$, при $H=1,26$ м.

Условные величины расстояний, на которых прекратится испарение, получились достаточно вероятные. Аналогичные уравнения могут быть получены для всякого болота, если пользоваться нисходящим рядом величин снижения, начиная от переломного горизонта; если же брать весь ряд, начиная от поверхностного горизонта, то прямая линия оказывается явно неудовлетворительной для выражения связи. От поверхности болота до переломного горизонта величина суточного снижения уровня воды нарастает, а от переломного горизонта и ниже — убывает; поэтому и кривая связи должна иметь две ветви: восходящую и нисходящую.

Совместное влияние температуры и исходного положения уровня

По каждому из помещенных в табл. 37 и 38 болот имеется таблица, показывающая совместное значение температуры и исходного положения уровня. По Раменскому болоту такая таблица составлена для бездождных периодов (от 3 суток) за 1909—1913 гг. (табл. 39).

Таблица 39

Суточное снижение уровня грунтовой воды по Раменскому болоту (в см)

Исходное положение уровня, H (в см)	Средняя суточная температура воздуха						Среднее
	0—5°	6—10°	11—15°	16—20°	21—25°	26—30°	
11—20	—	8,8 $n=2$	15 $n=1$	—	—	—	—
21—30	7 $n=2$	4 $n=5$	5,4 $n=13$	5,6 $n=1$	7 $n=2$	6 $n=1$	5,4
31—40	8 $n=3$	9,3 $n=4$	10,3 $n=6$	14 $n=9$	12,3 $n=3$	—	11,4
41—50	8 $n=3$	9,5 $n=5$	9 $n=2$	19,7 $n=6$	17,5 $n=2$	—	13,4
51—60	—	11,7 $n=1$	27 $n=1$	32,3 $n=4$	25 $n=3$	—	27,0
61—70	—	—	17,5 $n=2$	24 $n=4$	—	—	21,7
71—80	—	—	30 $n=1$	20	—	—	25,0
Среднее	7,5	8,0	9,9	15,6	16,1	—	—

Уравнение связи h от t и H для болота в Раменской даче, по непосредственным данным за 96 бездождных периодов, имеет вид:

$$h = -1,1 + 0,05t + 0,04H,$$

где: h — суточное снижение уровня грунтовой воды в бездождные периоды в см (не в мм);

t — средняя суточная температура воздуха;

H — исходное расстояние уровня грунтовой воды от поверхности в см.

Аналогично для интенсивно осушенного болота Архангельского опорного пункта за 1928—32 гг. в бездождные периоды суточное снижение уровня грунтовой воды h оказалось равным:

$$h = 3,34 + 0,05t - 0,05H.$$

ГЛАВА V

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ ПОСЛЕ ВЫПАДЕНИЯ ДОЖДЯ

После выпадения дождя происходит подъем уровня грунтовой воды или, по меньшей мере, некоторая задержка в его снижении.

В наиболее чистом виде влияние дождя на подъем воды прослеживается при выпадении кратковременного дождя после предшествовавших нескольких дней бездождия. Таких случаев сочетания условий удастся выбрать немного; чаще имеется наличие дождей в течение нескольких суток подряд или перемежающихся через сутки. Ясно, что одна и та же высота осадков произведет различное повышение уровня грунтовой воды в зависимости от того, выпали ли эти осадки за одни сутки или за трое суток. При кратковременном выпадении осадков почти полностью отпадает компенсирующее влияние испарения и стока, при выпадении осадков в течение трех суток — сток и испарение совершенно искажают непосредственное влияние осадков на поднятие грунтовой воды. Поэтому в настоящей главе рассматривается влияние лишь кратковременных осадков, продолжительностью до двух суток, выпавших после нескольких дней бездождия; суточные осадки в 0,1 мм не считались за дождь. Предварительно необходимо еще ввести ясность в способ выражения зависимости и высоты поднятия уровня грунтовой воды от высоты выпавших кратковременных осадков. В дальнейшем изложение вводится термин: «коэффициент поднятия грунтовой воды», под которым подразумевается отношение высоты поднятия уровня грунтовой воды к высоте осадков.

Следует предполагать, что коэффициент поднятия будет различен в зависимости от величины осадков: незначительный дождь может только остановить снижение уровня грунтовой воды, следовательно, коэффициент поднятия будет равен нулю; слабый дождь даст очень малый коэффициент поднятия, а сильный дождь должен дать большой коэффициент поднятия грунтовой воды. Здесь напрашивается аналогия со стоком: малые осадки дают очень малый коэффициент стока или близкий к нулю, большие осадки дают высокий коэффициент стока.

Кроме величины осадков на коэффициент поднятия грунтовой воды должно влиять расстояние уровня грунтовой воды от поверхности болота в момент выпадения осадков; это расстояние к моменту выпадения осадков или, вообще, к началу регистрации какого-либо действующего фактора, назовем исходным положением уровня грунтовой воды. Влияние исходного

положения уровня грунтовой воды, как будет видно из дальнейшего, не столь односторонние, как оно обычно представляется.

Сводные величины коэффициента поднятия грунтовой воды

Осредненные величины коэффициента поднятия грунтовой воды для разных случаев высоты атмосферных осадков и для различных наблюдавшихся исходных положений уровня грунтовой воды представлены в табл. 40.

Таблица 40

Пункт наблюдений	Период	Коэффициент поднятия грунтовой воды (в мм)
Ленинградская область		
Новгородская опытная станция	1923—33	5,2
Замошский опорный пункт	1924—31	6,2
Волховский опорный пункт	1925—32	4,3
Ойцевское болото	1934	4,7
Калининская область		
Оршанское болото	1909—16	4,6
Московская область		
Раменское болото	1909—13	4,0
Яхромское болото		5,9
Северный край		
Архангельское опытное поле	1922—36	4,7
Белорусская ССР		
Марьинское болото	1928—31	4,0
Загальское болото	1932—34	3,2
Погонное болото	1931—33	6,0
Закавказье		
Кобулетское торфяное болото (осушенная часть)	1934—35	3,4
Супсинское бывшее болото (на суглинке)	1934	11,0
Чаладидский опытный участок (на суглинке)	1934	9,5

Рассмотрение этой сводки показывает достаточную устойчивость величины поднятия уровня грунтовой воды, приходящегося на каждый 1 мм дождя в совершенно различных районах СССР.

При всей неточности и часто бесконтрольности наблюдений средние величины коэффициента поднятия оказались весьма близкими друг к другу. В среднем при кратковременных осадках (1—2 суток) на каждый 1 мм дождя приходится в торфяном грунте 4—6 мм поднятия уровня грунтовой воды в смотровых скважинах (коэффициент поднятия).

Полученные величины не выявляют связи коэффициента повышения грунтовой воды с интенсивностью осушения. Возможно как будто утверждение, что интенсивно осушенные болота дают больший коэффициент повышения уровня грунтовой воды (Новгородское, Замошское, Погонное болота) по сравнению со слабо осушенными (Оршинское, Раменское, Онцевское).

Необходимо обратить внимание на то, что поднятие уровня воды в смотровых скважинах начинается через несколько минут после выпадения дождя. Это обстоятельство замечено при специальных наблюдениях в 1928 г. на болоте Минской опытной станции, а также самописцами на Волховском опорном пункте. Между тем дождевая вода едва ли может так быстро проникнуть через толщу торфа по вертикали в 50—70 см, не говоря уже о горизонтальном 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 осадков, заполняя промежутки верхнего горизонта торфа, увеличивает давление воздуха в нижележащих слоях торфа и тем самым выжимает воду в смотровые скважины. В подтверждение этого можно привести результаты наблюдений барометрического давления в разных горизонтах почвы, произведенных А. Трофимовым¹. Оказалось, что изоляция воздуха в почве выпадающими атмосферными осадками от наружного воздуха вызывает резкое сжатие воздуха в почве до 20 мм² столба ртути, причем это сжатие наступает скачком после выпадения осадков. Однако, ясности в этом объяснении нет; сжимаемый почвенный воздух может иметь выход в скважину, не вызывая подъема воды.

Значение высоты выпавших осадков

Для суждения о зависимости коэффициента поднятия грунтовой воды от величины выпадающих осадков составлена табл. 41, в которой приведены коэффициенты поднятия, соответствующие высотам атмосферных осадков от 6 до 10 мм, от 11 до 15 мм и т. д.

Приведенная таблица специфична пестротой величин коэффициентов поднятия, а также отсутствием всякой связи между ними и высотой выпадающих дождей. Никакой тенденции к повышению с увеличением осадков коэффициент поднятия не обнаруживает. На основании приведенных данных можно грубо приближенно принять, что высота поднятия уровня грунтовой воды пропорциональна высоте осадков, имея постоянный коэффициент; на Новгородском и Раменском болотах оказалось, что коэффициент поднятия грунтовой воды даже уменьшается с увеличением атмосферных осадков.

Этот неожиданный вывод имеет два предположительных объяснения:

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

² Эта высота поднятия столба ртути представляется непонятно большой.

Коэффициенты поднятия грунтовой воды (в мм)

Таблица 41

Пункт наблюдений	Число наблюдений	Высота осадков (в мм)							
		6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35	36—40	41—45
Новгородская болотная станция									
Расстояние между дренами, 10—15 м	29	5,7	6,1	4,2	3,6	—	—	—	
То же, 20—30 м	27	7,4	4,8	4,0	3,2	—	—	—	
Замошский опытный пункт (Ленинградская область)									
Расстояние между канавами, 21—32 м	—	4,9	6,7	6,6	6,7	6,9	—	—	
То же, 42—54 м	—	6,9	6,2	6,3	6,8	6,4	7,0	6,1	—
Волховский опытный пункт (Ленинградская область)									
Расстояние между канавами, 25 м	73	4,3	3,8	4,3	4,0	3,5	2,0	5,7	—
То же, 50 м	74	4,8	4,4	4,9	2,8	3,8	4,2	4,4	—
» 100 »	77	5,1	5,3	5,2	3,9	4,0	—	3,6	—
Оршинское болото (Калининская область)									
Низина, в 100 м от канавы	43	2,1	5,0	1,8	1,5	1,9	—	—	—
» » 21 » »	43	2,5	2,6	2,2	2,1	2,5	—	—	—
Минеральный грунт	34	6,6	10,5	7,4	6,9	8,3	—	—	—
Раменское болото (Московская область)									
Низина, в 245 м от канавы	34	—	4,8	2,3	2,8	2,8	—	6,5	1,2
То же, » 138 » »	36	—	4,5	2,5	2,8	2,4	—	3,7	1,3
» » 106 » »	30	—	4,3	6,4	5,0	5,9	—	4,4	4,4
Колодец № 2	34	—	7,0	4,9	3,7	5,6	—	3,0	—
» № 3	34	—	3,6	1,8	1,5	2,6	—	3,2	—
» № 5	34	—	4,8	5,5	3,2	3,2	—	3,5	—
» № 6	32	—	2,8	2,7	2,1	3,6	—	3,2	—
Яхромское болото (Московская область)									
14 скважины	—	4,6	4,2	6,7	4,4	1,7	4,1	5,2	—
Загальское болото (БССР)									
В 20 м от канавы	11	3,9	8,9	0,8	0,9	0,2	2,6	—	—
» 50 » »	15	3,5	8,5	1,9	1,5	2,1	2,6	—	—
» 50 » »	12	1,4	6,3	0,3	0,4	1,4	1,5	—	—
Марьинское болото (БССР)									
Колодец № 7	22	5,4	3,6	1,9	6,1	4,2	—	—	—
» № 8	14	6,3	4,5	2,2	—	4,5	—	—	—
Погонное болото (БССР)	49	5,2	4,4	7,6	5,5	8,7	7,8	5,7	8,6
Оидевское болото (Ленинградская область)	5	—	5,1	—	6,4	—	1,8	—	—
Кобулетское болото (Груз. ССР)	122	3,1	2,2	4,2	3,5	—	5,8	—	2,5
Архангельский опытный пункт									
Расстояние между канавами, 21—53 м	—	5,0	6,4	5,9	5,2	5,2	8,0	—	4,5
То же, 10—30 м	—	2,6	4,5	5,3	3,9	7,0	4,4	—	4,6

1) Верхние слои торфа суше и пористее нижних; поэтому при сильном дожде по мере приближения уровня грунтовой воды к поверхности каждый последующий 1 мм дождя вызывает меньшее поднятие уровня; этим, может быть, и компенсируются большие потери выпадающих осадков средней величины на смачивание слоя торфа от поверхности болота до исходного уровня грунтовой воды.

2) Метеорологические станции в ряде мест находятся в нескольких километрах от смотровых скважин, и потому величина суточных осадков, измеренная на станции, может значительно отличаться от величины осадков, выпавших на месте нахождения наблюдательных скважин.

Высказанные предположения, однако, не решают вопроса, и изложенный раздел о влиянии на поднятие уровня грунтовой воды кратковременных дождей пока остается еще не освещенным.

Значение исходного положения уровня грунтовой воды

Группируя коэффициенты поднятия грунтовой воды по интервалам исходного положения, равным 10 см, получаем табл. 42.

Из рассмотрения данных этой таблицы видно, что наибольший коэффициент поднятия грунтовой воды соответствует некоторому исходному положению уровня грунтовой воды, находящемуся в среднем на расстоянии 40—60 см от поверхности, а совсем не у самой поверхности болота; по отдельным болотам этот горизонт наиболее активного поднятия грунтовой воды под влиянием дождей находится на расстоянии 40—80 см от поверхности болота.

Положение это относится как к осушенным, так и к неосушенным болотам.

Следовательно, совершенно ошибочно распространенное мнение, что чем ближе грунтовая вода к поверхности, тем чувствительнее уровень ее к выпадению атмосферных осадков. Это ошибочное суждение выводилось логически из того, что чем ближе уровень воды к поверхности, тем меньше расходуется дождевой воды на смачивание толщи торфа от поверхности до уровня грунтовой воды. Расхождение с фактическим материалом, получавшееся у В. Н. Грамматина по Новгородскому болоту, объяснялось им случайностью и просто игнорировалось. Лишь когда такое же положение выявилось по материалам всех болот, по которым была произведена обработка [41], прежнее «логическое» рассуждение и якобы случайность отступления пришлось отвергнуть.

Объяснение обнаруженного явления, что коэффициент поднятия грунтовой воды оказывается наибольшим при исходном уровне воды на некотором, довольно значительном расстоянии от поверхности, весьма просто. Торф у поверхности болота, особенно неразложившийся очес сфагновых болот, весьма рыхл, и пористость его велика, поэтому каждый последующий 1 мм осадков вызовет в этом слое незначительное поднятие. С удалением от поверхности торф плотнее, и потому здесь каждый миллиметр дошедших осадков вызовет подъем уровня грунтовой воды на большую величину.

Коэффициенты поднятия грунтовой воды в зависимости от исходного положения уровня

Пункт наблюдений	Исходное расстояние уровня грунтовой воды от поверхности, в 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
Архангельский опорный пункт														
Расстояние между канавами 21—53 м	—	—	—	5,7	5,9	6,7	4,7	4,6	3,2	—	—	—	—	—
То же, между дренами 10—30 м . . .	—	—	—	—	3,6	6,6	5,6	3,5	4,1	2,8	—	—	—	—
Новгородская болотная станция														
Расстояние между дренами 10—15 м	—	—	—	—	3,1	5,6	6,7	4,6	2,7	—	—	—	—	—
То же, 20—30 м	—	—	—	—	5,7	5,4	3,3	—	—	—	—	—	—	—
Замосский опытный пункт (Ленинградская область)														
Расстояние между канавами 21—32 м	—	—	5,0	5,3	5,3	5,8	6,1	6,2	6,6	9,3	—	—	—	—
То же, 42—54 м	—	3,4	4,4	5,2	8,8	6,0	7,3	7,7	6,1	7,7	—	—	—	—
Волховский опорный пункт (Ленинградская область)														
Расстояние между канавами 25 м . . .	—	—	4,1	4,1	3,9	4,7	4,4	—	—	—	—	—	—	—
То же, 50 м	—	2,2	3,9	3,7	5,0	7,5	3,2	7,1	—	—	—	—	—	—
» 100 »	2,2	4,7	3,9	4,1	7,5	8,1	3,8	—	—	—	—	—	—	—
Оршинское болото (Калининская область)														
Пизина, в 190 м от канавы	2,7	3,3	2,6	2,8	7,2	1,3	2,8	4,5	1,3	—	—	—	—	—
» 21 » »	1,8	4,1	3,0	4,6	4,0	5,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Суходол	0,9	4,3	7,6	4,7	7,3	8,0	11,2	14,5	—	—	—	—	—	—
Онциевское болото (1934 г.)	1,5	4,5	6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Раменское болото (Московская область)														
Пизина, в 245 м от канавы	1,0	1,4	2,7	3,6	4,9	7,2	10,4	—	—	—	—	—	—	—
» 138 »	—	1,3	1,4	2,7	4,3	7,2	8,3	9,5	—	—	—	—	—	—
» 106 »	—	1,5	2,0	6,1	7,1	7,0	6,1	2,9	—	—	—	—	—	—
Раменское болото (2-я линия)														
Колодец № 2	—	—	2,0	4,3	7,5	12,5	—	—	—	—	—	—	—	—
» № 3	0,75	1,6	1,9	1,9	4,5	8,7	—	—	—	—	—	—	—	—
» № 5	—	2,2	2,1	2,2	6,4	9,2	—	—	—	—	—	—	—	—
» № 6	—	—	1,6	1,7	2,3	2,0	3,1	—	—	—	—	—	—	—
» № 1	—	—	—	—	—	4,0	—	7,5	3,7	6,6	3,8	5,4	1,7	4,0
» № 4	0,8	1,4	2,2	4,4	6,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Загальское болото (БССР)														
в 20 м от канавы	—	—	—	—	—	—	2,1	5,1	5,1	1,5	1,6	—	—	—
» 50 »	—	—	—	—	—	2,5	3,4	3,5	5,0	3,0	0,8	—	—	—
» 50 »	—	—	—	—	—	—	1,2	1,1	1,4	2,7	0,3	—	—	—
Марьинское болото (БССР)														
Колодец № 7	—	—	—	—	6,4	—	4,3	4,8	1,9	1,2	—	—	—	—
» № 8	—	—	5,8	4,7	6,7	8,0	4,1	3,5	2,8	—	—	—	—	—
Поговное болото (БССР)	—	3,8	5,2	5,7	6,5	4,8	6,2	9,2	10,1	6,2	3,3	3,7	—	—
Кобулетское болото (Груз. ССР)	—	3,4	3,3	—	2,7	—	3,4	—	3,5	—	—	—	—	—
Среднее (без суходола)	1,5	2,8	3,3	4,1	5,5	6,2	4,8	5,3	4,2	4,6	2,0	—	—	—

Чем дальше от поверхности, тем, как правило, торф плотнее, но тем меньшее количество осадков будет доходить до этого горизонта, — проявляются два противоположно действующих фактора. При таких условиях горизонт наибольшего коэффициента поднятия должен находиться на какой-то глубине от поверхности; по данным табл. 42 он в большинстве случаев оказался на глубине 50—60 см, но по некоторым скважинам этот горизонт спускается на глубину 80—100 см. Поэтому попытки выразить связь между поднятием грунтовой воды и исходным уровнем по закону прямой линии являются методически неправильными и искажающими существо явления.

Сочетание высоты осадков и исходного положения уровня

Число возможных группировок влияющих факторов на повышение уровня грунтовой воды при выпадении осадков значительно. Наиболее просто представляется привести действие на уровень грунтовой воды сочетания высоты осадков и исходного положения уровня. Например, на Архангельском опытном поле для расстояния между канавами 53 м коэффициенты поднятия грунтовой воды при разных атмосферных осадках и исходных положениях уровня за 1928—32 гг. (июнь—сентябрь) оказались следующими (табл. 43):

Таблица 43

Коэффициент поднятия грунтовой воды на Архангельском болоте

Исходное расстояние уровня (в см)	Суточные осадки (в мм)											Среднее	Число наблюдений	
	2—4	4—6	6—8	8—10	10—15	15—20	20—25	25—30	30—35	35—40	45—50			50—65
21—30	—	1,8	4,1	6,4	—	1,0	5,1	—	—	—	—	—	3,6	5
31—40	—	8,7	5,9	6,6	6,6	5,1	—	5,0	—	3,7	—	—	6,2	12
41—50	7,1	3,6	2,6	4,2	9,1	6,6	5,3	7,6	—	5,8	—	—	5,7	19
51—60	—	3,5	—	5,3	11,8	8,1	6,1	5,4	—	—	—	—	6,3	41
61—70	—	1,6	6,4	—	4,8	—	—	—	—	—	7,4	—	5,2	5
71—80	—	—	6,8	—	1,6	—	—	3,5	9,0	—	—	5,9	5,1	6
81—90	—	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	1,5	1
Среднее	7,1	4,3	5,4	5,3	6,7	5,8	5,4	5,7	9,0	4,5	7,4	5,9	5,3	—
Число наблюдений	1	9	7	11	8	7	4	7	1	2	1	1	—	5,9

Таблица иллюстрирует обычную пестроту результатов наблюдений; наибольший коэффициент поднятия получился при исходных положениях уровня 35 и 55 см. Аналогичные таблицы были построены по многим пунктам и колодцам; однако новых оригинальных связей они не показывают.

Изменения уровня грунтовой воды по пятидневкам

От рассмотрения отдельных, обособленных случаев осадков и от отдельных бездождных (в течение нескольких суток) периодов переходим к рассмотрению динамики грунтовой воды по пятидневкам, в комплексной зависимости этой динамики от атмосферных осадков за пятидневку. Произвести сопоставление осадков, температур воздуха и изменений уровня грунтовой воды за пятидневку оказывается достаточно сложным; сроки наблюдений над осадками и уровнем грунтовой воды не одновременны. Измеренные в 7 час. утра по дождемеру осадки относятся, согласно инструкции метеорологическим станциям, к осадкам предшествующих суток, а измеренный в 7 час. уровень грунтовой воды относится именно к данному моменту; еще сложнее соотношение в случае, когда уровень грунтовой воды измерен в полдень, в то время как осадки всегда измеряются в 7 час. утра; сутки накладываются на сутки.

Учитывая эти условия, обработка велась следующим образом: 1) вычислялись осадки за 1—5 число, 2) из уровня воды 6-го числа вычитался уровень воды 1-го числа. Полученные таким образом величины осадков и изменения уровня грунтовой воды сопоставлены в табл. 44.

Таблица 44

Осадки за пятидневку (в мм)	Изменение уровня грунтовой воды за пятидневку (в мм)			
	Пидебское болото (Ленин- градская область), 1936 г.	Гладкое болото (Ленинград- ская область), 1935 г.	Рудня-Радовель- ское болото (УССР), за 1927, 1928 и 1931 гг.	Архангельское опытное поле, за 1933—35 гг.
0—2	—20	—25	—72	—60
2—4	—61	—15	—52	—23
4—6	—18	—11	—32	—44
6—10	—4	—5	—61	—7
10—15	+29	+1	—28	+19
15—20	+14	+4	+21	+30
20—25	+70	+16	+86	+63
25—30	+45	+32	+118	+165
30—35	—	+46	+161	+40
35—40	+70	—	+218	—
40—45	—	—	+195	+156
45—50	—	—	—	+142

Приведенный осредненный материал указывает, что на неосушенном сфагновом болоте в Ленинградской области, при высоте атмосферных осадков 10—15 мм за пятидневку, уровень грунтовой воды за это же время остается без изменения; при осадках больше 15 мм уровень за пятидневку поднимается, а при осадках менее 10 мм — снижается.

На осушенном Архангельском опытном поле повышение уровня грунтовой воды за пятидневку происходит при выпадении осадков за это же время в 10—15 мм.

На осушенном Рудня-Радовельском болоте в УССР повышение уровня грунтовой воды за пятидневку происходит при осадках за это же время в 15—20 мм.

На болоте Ромен (УССР) повышение горизонта начинается при осадках 10—15 мм за пятидневку. По отдельным пятидневкам получаются чрезвычайно пестрые результаты, поэтому приведенные осредненные величины являются для прогноза ненадежными.

Пестрота результатов простого сопоставления осадков и изменения уровня грунтовой воды за пятидневку объясняется следующим: 1) если осадки выпали в первый день пятидневки, то к концу пятидневки они уже испарились и стекли, в связи с чем поднятия уровня воды не наблюдается, а если те же осадки выпали в последний день пятидневки, то они вызывают сильное поднятие уровня грунтовой воды; 2) в приведенных сопоставлениях не учитывается влияние температуры воздуха и исходного положения уровня грунтовой воды.

Этот упрощенный метод все же дает возможность сделать вывод, что испарение плюс сток с сфагнового неосушенного болота под Ленинградом в среднем за май—сентябрь равны 12 мм слоя воды за пятидневку.

ГЛАВА VI

УРАВНЕНИЯ СВЯЗИ МЕЖДУ КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ ГРУНТОВОЙ ВОДЫ И ДЕЙСТВУЮЩИМИ ФАКТОРАМИ

Атмосферные осадки, температура воздуха и исходное положение уровня грунтовой воды, в практически бесконечно большом числе возможных сочетаний, вызывают изменения высоты грунтовой воды за определенные промежутки времени: за сутки, за пятидневку, за месяц и пр.; колебания уровня грунтовой воды есть функция перечисленных трех действующих факторов: осадков, температуры и исходного положения уровня. Влияние каждого фактора в отдельности может носить сложный характер.

Выражение зависимости какого-либо явления от двух и более переменных действующих величин может быть представлено в виде уравнения первого порядка; применительно к уровню грунтовой воды эта зависимость выражается интерполяционным уравнением:

$$h = a + bt + cH + dN, \quad (1)$$

где t — средняя температура периода,

H — исходное положение уровня в начале периода,

N — осадки,

h — изменение расстояния уровня грунтовой воды от поверхности к концу периода,

a, b, c, d — параметры, численное значение которых находится способом наименьших квадратов по материалам наблюдений.

Наибольшее производственное значение в колебании уровня грунтовой воды имеют, повидимому, пятидневные сроки. В соответствии с этим в 1937 г. ГГИ были вычислены коэффициенты указанных выше уравнений по данным наблюдений в разных районах СССР: 1) опытное поле возле г. Архангельска, 2) неосушенное Гладкое и Пидебское болота Ленинградской области, 3) слабо осушенное Раменское болото Московской области, 4) осушенное болото Рудня-Радовельской опытной станции в УССР.

Результаты вычислений представлены в сводной табл. 45, где h — изменение уровня грунтовой воды за пятидневку в см,

t — средняя температура за пятидневку,

H — расстояние уровня грунтовой воды от поверхности в начале пятидневки (исходное положение) в см,

N — высота слоя атмосферных осадков за пятидневку в см.

Приведенный ряд уравнений связи изменения уровня грунтовой воды за пятидневку с действующими на него факторами желательно

и вполне возможно увеличить, но и этот ряд достаточен для первоначальных выводов:

1. Неблагоприятное впечатление производят резкие различия в величинах свободных членов уравнений связи и в величинах коэффициентов при t , H и N . Температура воздуха, казалось бы, должна во все годы и во всех пунктах оказывать приблизительно одно и то же влияние, а в уравнениях связи коэффициенты при t находятся в пределах от $-0,1$ до $-0,7$, коэффициенты при исходном расстоянии уровня грунтовой воды заключены в пределах от $-0,04$ до $+0,36$, а коэффициенты при атмосферных осадках находятся в пределах от $1,6$ до $6,85$.

2. Однако следует отметить, что при вычислениях интерполяционных уравнений резкие отличия коэффициентов получаются всегда; например, уравнения связи расхода и горизонта воды в какой-либо реке имеют совершенно различные коэффициенты по вычислениям разных авторов, а результаты вычислений расходов по этим уравнениям оказываются близкими.

Аналогичное сказанному отмечается и здесь; например, три уравнения по Раменскому болоту имеют весьма различные коэффициенты:

$$\begin{aligned}\text{За 1909 г. } h &= -7,4 - 0,1t + 0,25H + 1,55N \\ \text{» 1910 » } h &= -0,1 - 0,27t - 0,04H + 4,19N \\ \text{» 1911 » } h &= +1,6 - 0,27t - 0,03H + 2N\end{aligned}$$

Уравнения резко отличаются по величине коэффициентов и по величине свободного члена, как будто эти три уравнения поставлены рядом совершенно случайно. Однако, подставляя в каждое из этих уравнений действительные величины: $t = 10^\circ$, $H = 30$ см, $N = 1$ см, получаем по ним очень близкие величины изменения уровня грунтовой воды за пятидневку:

$$\begin{aligned}\text{За 1909 г. } h &= +0,6 \text{ см} \\ \text{» 1910 » } h &= +0,2 \text{ »} \\ \text{» 1911 » } h &= 0,0\end{aligned}$$

т. е. величины, практически совпадающие.

Если подставить те же значения t , H и N в совершенно различные по величине коэффициенты уравнения Рудня-Радовельской станции за 1929 и 1930 гг., получим:

$$h = -1,4 \text{ см и } h = -3,1 \text{ см.}$$

Между собою эти величины не очень далеки, и обе отличаются от полученных для Раменского болота в сторону минус, что вполне соответствует естественному положению: снижение уровня в УССР, в то время как в Московской области при тех же условиях уровень остается без изменения.

Следовательно, полученные уравнения все же доброкачественны и могут служить для вычислений h .

3. Примененные уравнения выражают связь между включенными в них величинами по закону прямой линии; между тем, в предшествующих главах было показано, что связь между поднятием воды и исходным положением уровня при выпадении осадков, а также связь между снижением воды и исходным положением уровня в дни бездождия выражается ломаными прямыми или, вернее, кривыми

линиями с вершинами на некотором расстоянии от поверхности болота. Всевозможные сочетания величин t , H и N замаскировывают и смягчают эту допущенную в составлении уравнений исходную ошибку, отражая ее все же на величине среднего квадратичного отклонения.

4. Величины средних квадратичных отклонений находятся в пределах, практически вполне удовлетворительных. Напомним, что величина среднего квадратичного отклонения указывает те пределы, в которых находятся $\frac{2}{3}$ всех отклонений; например, отклонение для болота Гладкого за 1936 г., равное $\pm 1,5$, означает, что $\frac{2}{3}$ вычисленных h отличаются от наблюдаемых h не более чем на $\pm 1,5$ см, а оставшаяся $\frac{1}{3}$ вычисленных h отклоняется на большую величину. Этот результат достаточно удовлетворителен. Следует только ограничивать пользование каждым уравнением в пределах тех значений H , которые вошли в уравнение при вычислении его коэффициентов и указаны в табл. 45.

Случаи больших квадратичных отклонений, как, например, по Пидебскому болоту и по Рудня-Радовельской станции, указывают или на неподчинение связей закону прямой линии, или на ошибки в наблюдениях.

5. Положительный знак (плюс) при коэффициенте исходного положения уровня (H) подтверждает уже отмеченное ранее обстоятельство, что чем дальше уровень грунтовой воды от поверхности (чем больше H), тем сильнее подъем воды при какой-либо величине атмосферных осадков. Например, для Гладкого болота при $t = 10^\circ$, $N = 2$ см и $H = 10$ см изменение за пятидневку уровня h равно $+2,0$ см, а при $H = 20$ см — равно $+3,8$ см.

В главе V уже отмечалось, что такое соотношение сохраняется до некоторого переломного горизонта, находящегося на глубине 50—60 см от поверхности болота.

Поэтому из приведенных интерполяционных уравнений следует считать более правильно построенными, грубо говоря, те, при построении которых уровень грунтовой воды не был ниже 60 см. В деталях же следует каждое уравнение проследить в отдельности. Например, два уравнения для Раменского болота в отличие от всех других имеют перед членом H знак минус, но числовой коэффициент при H настолько мал, что значение исходного положения здесь вообще почти теряется.

Приведенные уравнения связи дают материал для вычисления вероятных изменений уровня при всевозможных сочетаниях величин осадков, температуры и исходного положения уровня.

Количество атмосферных осадков, необходимое для поддержания уровня грунтовой воды на расстоянии 30 см от поверхности, при суточной температуре воздуха 10 и 15° , вычисленное сначала за пятидневку (в см), а затем за сутки (в мм), приведено в табл. 46.

В виде справки приведем средние многолетние месячные температуры в Ленинграде: май $9^\circ,5$, июнь $14^\circ,6$, июль $17^\circ,5$, август $15^\circ,5$, сентябрь $10^\circ,6$, октябрь $4^\circ,7^*$.

* Климатологический справочник по СССР, изд. ГГО, 1932.

Таблица 45

Год	Период	Уравнения связи	Среднее квадратичное отклонение H вычисленного от наблюдаемого (в см)*	Пределы наблюдаемых H (в см)	Сумма осадков за весь период (в см)
		Архангельское оп. поле (скв. № 5)			
1928	Июнь— сентябрь	$h = -10,8 - 0,49t + 0,30H +$ $+ 3,67N$	$\pm 2,6$	16—53	21,5
1929		$h = -16,7 - 0,38t + 0,36H +$ $+ 4,9N$	$\pm 3,4$	23—55	20,2
1930		$h = -10,6 - 0,21t + 0,14H +$ $+ 3,9N$	$\pm 2,6$	24—77	16,2
		Гладкое болото, в 50 км от Ленинграда (скв. № 5)			
1936	Май— сентябрь	$h = -4,4 - 0,11t + 0,18H +$ $+ 2,36N$	$\pm 1,5$	7—30	22
		Пидебское болото, в 160 км к югу от Ленин- града (скв. № 2)			
1936	Май— октябрь	$h = -4,0 - 0,19t + 0,11H +$ $+ 3,1N$	$\pm 4,3$	2—52	35,8
		Раменское болото Московской обл. (скв. № 5)			
1909	Май— октябрь	$h = -7,4 - 0,1t + 0,25H +$ $+ 1,55N$	$\pm 0,9$	18—33	41,8
1940		$h = -0,1 - 0,27t - 0,04H +$ $+ 4,19N$	$\pm 2,4$	24—77	30,9
1941		$h = +1,6 - 0,27t - 0,03H + 2N$	$\pm 1,7$	26—64	32,6
		Рудня-Радовель- ская оп. станция (УССР) (скв. № 185)			
1929	Май— сентябрь	$h = -10,7 - 0,26t + 0,11H +$ $+ 6,85N$	$\pm 2,2$	7—94	26,5
1930		$h = +0,07 - 0,74t + 0,03H +$ $+ 4,3N$	$\pm 3,7$	45—99	38,1
1931		$h = -10,2 - 0,70t + 0,27H +$ $+ 3,47N$	$\pm 2,3$	25—90	45,5
1934					

* При вычислениях средних квадратичных отклонений единичные, резко отклоняющиеся члены ряда исключались.

Примечание к табл. 45. Смотровые скважины, по наблюдениям в которых вычислены приведенные уравнения, расположены:

Архангельское опытное поле. Скважина № 5 находится на середине между канавами, при расстоянии между ними 53 м; представляет собой деревянную трубу, зарытую в торф на глубину 1,2 м.

Раменское болото. Скважина № 5 находится в 135 м от канавы.

Гладкое болото. Скважина № 5 находится на склоне выпуклости сфагнового болота, в расстоянии 400 м от канавы; скважина глубиной 1,2 м, без обделки, целиком в торфе.

Пидебское сфагновое болото. Скважина № 2 находится в 150 м от совершенно заросшей старой канавы; скважина в виде деревянной трубы, глубиной 1 м; глубина торфа 2 м.

Рудня-Радовельская опытная станция. Скважина № 185 находится на середине между канавами, при расстоянии между ними 100 м; скважина обделана пластинами.

Таблица 46

Потребное количество осадков для поддержания уровня грунтовой воды на расстоянии 30 см от поверхности

Пункт наблюдений	Год	Потребное суточное количество осадков (в мм)	
		при $t=10^{\circ}$	при $t=15^{\circ}$
Архангельское опытное поле . . }	1928	3,6	5,0
	1929	4,0	4,8
	1930	4,4	5,0
Гладкое болото }	1936	0,0	0,6
	1936	1,4	2,4
	1909	1,2	1,8
Раменское болото }	1910	2,0	2,4
	1911	2,0	3,4
Рудня-Радовельская опытная станция }	1929	2,8	3,2
	1930	2,2	4,0
	1931	2,6	3,6

Для поддержания уровня воды на расстоянии 20 см от поверхности потребны значительно большие количества атмосферных осадков (табл. 47).

Таблица 47

Потребное количество осадков для поддержания уровня грунтовой воды на расстоянии 20 см от поверхности

Пункт наблюдений	Год	Потребное суточное количество осадков (в мм)	
		при $t=10^{\circ}$	при $t=15^{\circ}$
Архангельское болото	1929	5,4	6,2
Гладкое болото	1936	1,4	2,2
Пидебское болото	1936	2,4	3,0
Раменское болото	1909	4,2	5,2
Рудня-Радовельская опытная станция	1929	3,2	3,6

Суточная высота необходимого дождя для поддержания уровня грунтовой воды на расстоянии 20 см от поверхности на Гладком и Пидебском болотах при температуре воздуха 10° получена, таким образом, в пределах 1,4—2,4 мм, а при температуре воздуха 15° — в пределах 2,2—3,0 мм. Следовательно, можно считать, что сток плюс испарение на этих болотах составляют за сутки 1,4—2,4 мм при средней суточной температуре 10° и 2,2—3,0 мм — при температуре 15° .

Если сравнить с этими величинами полученные высоты испарения со сфагновых монолитов, приведенные в главе VII для тех же болот, то результаты сравнения оказываются вполне удовлетворительными.

Уравнения, приведенные в табл. 45, дают возможность вычислять и другие, характерные для гидрологического режима болот, величины. Например, каково суточное снижение грунтовой воды при отсутствии осадков при различных температурах воздуха и исходных положениях уровня?

Для вычисления принимаем в уравнениях табл. 45 $N = 0$ и решаем задачу для различных сочетаний t и H , ограничивая подставляемые величины теми пределами, в которых они брались при вычислении коэффициентов формул. Так, в табл. 45 указано, что для Архангельского опытного поля пределы наблюдаемых H в 1929 г. были 23—55 см, поэтому формула для 1929 г. по этому пункту пригодна лишь для H в пределах 23—55 см, и притом, чем ближе будут подставляемые H к крайним величинам, тем менее достоверен будет результат вычислений.

Приняв среднюю температуру за пятидневку $t = 10^{\circ}$ и 15° , получаем при отсутствии осадков нижеследующие вычисленные по уравнениям величины суточного снижения уровня грунтовой воды, при

Таблица 48

Суточные снижения уровня грунтовой воды при температуре 10 и 15°

Пункт наблюдений	Год	Исходный уровень H (в см)	Суточное снижение (в мм)		Примечание
			при $t=10^{\circ}$	при $t=15^{\circ}$	
Архангельское опытное поле	1929	40	12	16	Сильно осушенное
Гладкое болото	1936	20	3,8	5,0	Не осушенное
Пидебское болото	1936	25	6,4	9,0	» »
Раменское болото	1909	25	4,4	4,6	Слабо осушенное
Рудня-Радовельская опытная станция	1929	50	15,3	17,0	Сильно осушенное

Примечание. Следует помнить, что уравнения табл. 45 дают изменения уровня за пятидневку, поэтому для вычисления суточного снижения полученный по уравнению результат нужно разделить на 5.

наиболее соответствовавших каждому пункту исходных уровней воды (табл. 48).

Подстановка различных H и N дает очень заметную разницу в вычисленных величинах суточного снижения, что указывает на хорошее отражение формулами влияния действующих факторов, хотя это влияние и не соответствует закону прямой линии.

Уравнение суточного колебания уровня грунтовой воды

Возможности выражения связей между переменными величинами методом составления интерполяционных уравнений безграничны. В дополнение к массовым вычислениям изменения уровня грунтовой воды по пятидневкам имеются вычисления связей и по однодневным срокам.

По Раменскому болоту (скважина № 5) суточное изменение уровня воды в зависимости от температуры воздуха, от исходного положения и от величины выпавших за сутки атмосферных осадков С. С. Татарчук выразил за июль и август 1911 г. следующим уравнением связи:

$$h = +1,08 - 0,14t - 0,006H + 5,37N. \quad (2)$$

В этом уравнении h , H и N даны в см; пределы H (исходного положения уровня) — от 33 до 66 см. Это уравнение дает также возможность решать бесчисленное количество задач применительно к условиям периода июль—август 1911 г.

Например: суточная температура 10° , грунтовая вода стоит ниже поверхности на 50 см; какая должна быть суточная величина атмосферных осадков, чтобы стояние грунтовой воды не изменилось? Приняв $h = 0$ и подставив значения $t = 10^\circ$ и $H = 50$ см в уравнение (2), получаем $N = 0,11$ см = 1,1 мм. Это значит, что суточное испарение плюс сток равно слою воды высотой 1,1 мм.

Вычисление интерполяционных уравнений при обработке вертикальной динамики грунтовых вод имеет еще небольшое распространение. Х. А. Писарьков [96] вычислил уравнения декадного изменения грунтовых вод на болотах в районе ж.-д. ст. Лоухи (КФССР) за 1929 г. с учетом: исходного положения уровня, глубины канав, расстояния скважины от канав, атмосферных осадков и средней температуры.

В. Н. Грамматин вычислил для 11 скважин Новгородской опытной станции подъем уровня грунтовой воды после выпадения дождя:

$$h = 0,86a - 0,16b + 8,76,$$

где: a — осадки в пределах 4,2—25,7 мм;

b — исходное расстояние уровня воды от поверхности в см;

h — подъем (в см) на следующие сутки.

А. И. Ивицкий для Загальского травяно-осокового болота получил за 1932—34 гг.:

$$h = 0,725N - 3,625,$$

где: N — атмосферные осадки, выпавшие за период частого дождя (несколько дней подряд) в мм;

h — повышение уровня грунтовой воды в см.

Уравнение показывает, что при дожде в 5 мм подъем грунтовой воды равен нулю, т. е. дождь в 5 мм уравнивает величину испарения.

Бубнов для Кировской опытной станции в древесно-осоковом торфе вычислил: $h = 0,674 N - 6,74$ (где N — в мм, h — в см).

ГЛАВА VII

ИСПАРЕНИЕ С БОЛОТ

Гидрологическое значение болот в значительной мере зависит от величины испарения воды с них. Испарение из грунта через его поверхность и растительный покров следует различать: 1) действительное испарение, происходящее в естественных условиях влажности грунта, температуры, действия ветра, растительного покрова и пр., и 2) испарение возможное, наблюдаемое в искусственных условиях (в сосудах), при создаваемой определенной влажности грунта, определенном расстоянии уровня грунтовой воды от поверхности и пр. Возможное испарение определяется как наибольшее возможное при насыщении грунта водою до полной его влагоемкости и как испарение при различных, искусственно поддерживаемых, условиях грунтовой воды и влажности.

Испарение с болот, равно как и гидрологическая роль болот в целом являются до настоящего времени еще не достаточно разрешенными проблемами не только в количественном, но и в качественном отношении. Суждения ведутся преимущественно логическими построениями на базе оспариваемых исходных положений. 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 вполне серьезные основания к предположению, что болота испаряют влаги меньше, чем другие виды земель.

Суждения о значительном испарении воды с болот базируются на следующих положениях:

1. Обилие воды в торфяном болоте (до 94% — на верховом и до 91% — на низинного типа болоте), что благоприятствует испарению, так как известно, что чем больше насыщен грунт водою, тем больше испарение с него.

2. Значительная капиллярность торфа, дающая возможность пополнения высыхающего верхнего горизонта водою из нижних горизонтов.

3. Влажность воздуха над болотом, свидетельствующая о происходящем постоянном пополнении влаги воздуха путем испарения с болота.

4. Черный цвет торфа, способствующий большому поглощению тепла и нагреванию, что увеличивает испарение.

Сведения о малом испарении с болот исходят из наблюдений следующих косвенных обстоятельств:

1. Вся полукустарниковая растительность верхового болота имеет ясно выраженный ксерофитный характер, что отмечается ботаниками¹ и болотоведами. Это выражается наличием приспособлений для уменьшения испарения через листву. Например, багульник и ивы обладают густым покровом из волосков на нижней поверхности листа; подбел имеет щитовидные волоски и восковой налет на нижней стороне листа (у голубики — на обеих поверхностях), так же как клюква и осоки (*Carex panica*); подбел, клюква, морощка и багульник отличаются кожистостью листьев и стеблей; у хвоща, пушицы и некоторых осок стебли не имеют листьев и т. д.

И. А. Титов в 1913 г. подвергнул специальному исследованию сосну на болоте в Раменской лесной даче, севернее г. Дмитрова Московской области. Оказалось, что сосна на болоте имела рост побегов всего лишь в течение одного месяца, после чего жизнедеятельность ее затухла, как и у сосен, росших на самом сухом песке. Сравнительные величины главных побегов у 12—16-летних сосен в 1913 г. оказались следующими (табл. 49).

Таблица 49

Длина главных побегов сосны на Раменском болоте

Место наблюдений	Число сосен	Время измерения побегов							
		14/V	23/V	3/VI	14/VI	23/VI	3/VII	14/VII	23/VII
		Длина побега (в см)							
На песчаном сухом валу, вдоль канавы	4	10,5	16,6	21,0	22,4	22,8	—	—	—
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>Polytrichum</i> и <i>Dicranum</i>	5	4,7	8,7	15,9	27,3	31,0	33,3	34,0	34,4
На сфагновом мокром болоте; клюква, подбел, багульник; годичное нарастание мха, определенное по методу росинки, равно 3 см	5	1,4	2,4	3,9	7,0	7,2	7,3	—	—

Данные таблицы указывают на два обстоятельства, отмечаемые И. А. Титовым.

1. Местообитание с действительным недостатком воды на песчаном валу вдоль канавы дает такой же укороченный 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.

¹ Варминг Е. Ойкологическая география растений. 1901.

Таким образом, весь растительный покров верхового болота, за исключением самого сфагнома, указывает на испарение воды 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, предположительно, в следующем:

1. Вода, насыщающая торфяник, является коллоидальным раствором органических веществ, из которого растение может забирать воду лишь с трудом.

2. Низкая температура воды на горизонте корневой системы заставляет растения потреблять воду в минимальном количестве.

3. Содержание в воде угольной и перегнойной кислот делает эту воду ядовитой для растений.

Указанные выше специфические особенности полукустарниковой растительности относятся к сфагновым болотам; растительность низинных болот значительно разнообразнее и включает осоки, злаки и лютиковые, совершенно отличающиеся от полукустарников сфагновых болот. Поэтому, резкие различия в суждениях о величине испарения с болот и об их влиянии на режим речного стока обусловлены в некоторой мере тем, что верховые и низинные болота могут оказывать действительно резко различные влияния на режим рек.

При всех суждениях о гидрологических свойствах болот следует достаточно четко различать болота верховые (сфагновые) и низинные (травяные); в последней группе должно еще различать болота безнапорного питания (например, временно заливаемые речными паводками) и болота напорного питания (грунтовыми водами).

О величине испарения с болот и вообще со всякой поверхности можно получить представление в результате наблюдений испарения в искусственной обстановке, а также косвенными методами.

Наиболее грубым методом является первоначально применявшаяся почвоведомы насыпка грунта в порошкообразном состоянии в трубочки диаметром в несколько сантиметров; естественно, что этот метод ничего полезного дать не мог.

Второй метод, наиболее распространенный и применяемый на метеорологических станциях, оперирует с вырезанными из грунта монолитами незначительных размеров (обычно в 500—1000 см² и высотой 20—30 см), помещаемыми в сосуды-испарители. Испаритель помещается во второй сосуд-футляр, который устанавливается в земле в уровень с поверхностью; испарение определяется взвешиванием испарителя и учетом выпавших осадков. Вырезанный монолит в проводившихся наблюдениях оставался в испарителе беспрерывно в течение всего сезона наблюдений; эта «беспрерывность» монолитов значительно снижала ценность получавшихся результатов. Метод разнообразился тем, что в некоторых случаях в испаритель добавлялась вода «до постоянного веса», в других установках пополнение монолита водой производилось лишь атмосферными осадками.

Третий метод представляет улучшение второго, состоящее в том, что монолиты в испарителе — сменные и притом сменяются воз-

можно чаще; этим достигается приближение условий испарения с монолита к испарению с действительной поверхности болота, луга и поля. Применение его только начато. Подробнее об этом изложено ниже.

Четвертый метод — наблюдение испарения из лизиметров — больших сосудов, размерами около 1 м³, в которых создается и поддерживается уровень грунтовой воды на желаемой высоте. Этот метод применяется на опытных станциях.

Пятый метод — назовем его гидрологическим — состоит в наблюдениях над стоком по речке с болотным водосбором и над осадками, выпадающими на этой площади. Вычитание стока из осадков дает разность — величину испарения.

Шестой метод, наиболее косвенный, базируется на определениях влажности воздуха над изучаемой поверхностью.

Испарение с поверхности грунта нарушенной структуры

В многотомном руководстве по почвоведению¹, изданном в 1930 г., приведен многочисленный материал наблюдений над испарением с различного рода почв, произведенных Вольни (Wollny), Ганном (Hann), Гензелем (Henselle), Мазюром (Masure) Габерландом (Haberland), Крюгером (Krüger) и др. Однако большая часть этих наблюдений не может иметь никакого значения для решения вопроса об испарении с поверхности болота, поля, луга и леса. Опыты испарения производились преимущественно в трубках и притом над «порошками», вместо грунтов в их естественном состоянии.

Например, Габерланд помещал почвы в стеклянные цилиндры, диаметром 3,5 см, и подавал определенные количества влаги в почвы с помощью трубки через дно цилиндров. Количество испарившейся воды определялось через каждые 4 часа, после чего каждый раз производилось пополнение водой. Почвами служили:

Глина крупно-песчанистая (Grobsandige Lehm)	с влагоемкостью	35,0%
Болотная земля (Moorboden)	»	» 112,8%
Песок (Sand)	»	» 25,0%

Наблюдения велись при различных насыщениях почвы и разных дефицитах влажности воздуха в тени. Величины испарения, полученные при этом, приведены в табл. 50.

Как видно из таблицы, с поверхности воды испарялось приблизительно столько же воды, сколько и с порошка болотной земли. Глина же и песок, насыщенные водою, испаряли ее при всех условиях больше, чем болотная земля.

Вольни испытывал кварцевый песок, каолин, торф и их смеси. Почвы-порошки помещались в сосуды размером 1000 см² в поперечнике и 10 см высоты; насыщение производилось снизу капиллярным поднятием; все сосуды с 11/IX по 17/X 1883 г. оставались

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

Испарение с постоянных 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 из них даже не опубликована. Гебиг (Hebig)¹ указывает, что материалов, пригодных для сопоставления по испарению живыми растениями, очень мало. Им приводятся следующие сравнительные величины испарения:

С необработанной почвы	100%
» почвы, покрытой травяной растительностью	100,6%
» почвы, покрытой моховой растительностью	104,5%

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

По данным Вольни, высота слоя воды, испарившейся в течение данного года (в среднем из 3 лет), при количестве осадков в 586 мм, составляла:

С песка	189 мм
С торфа	323 »
С перегнойно-известкового песка	337 »
С суглинка	310 »
С травы на перегнойном песке	450 »

Вышеприведенные данные показывают, что поверхность, покрытая травяной растительностью, испаряет значительно больше, чем открытая поверхность.

В 1926 г. Гартманом были поставлены опыты над испарением более совершенно². С помощью цилиндрического бора в лесу были вынуты, без нарушения структуры и растительности, цилиндры песчаного грунта, высотой 40 см и диаметром 25 см, которые сразу были вставлены в сосуды соответствующих размеров. Дно сосудов имело отверстия, затянутые сеткой; сосуды были помещены в вегетационном домике; потери на испарение определялись взвешиванием; убыль воды пополнялась. Полученные в результате этих опытов величины среднего суточного испарения приведены в табл. 52.

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

Больше всего испаряли сладкие злаки: полевица и ежа сборная. Открытый 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

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

² Zeitschrift für Forst und Jagdwesen. 1928.

Среднее суточное испарение с различных поверхностей (в мм)

Род поверхности \ Месяц наблюдений	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь декабрь	Декабрь
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>)	3,56	2,68	1,26	0,42	0,30	0,16
Луговик с примесью гиппума	2,35	2,14	—	—	0,42	0,17
Песок открытый	0,85	—	0,61	0,40	0,30	0,10
Гиппум (<i>Hypnum Schreberi</i>)	0,65	0,45	0,16	0,07	0,10	0,03
Вода	1,33	1,06	0,71	0,69	0,40	0,29

с поверхности, покрытой и не покрытой растительностью. Нет смысла приводить опыты над капиллярным поднятием по почвам-порошкам; рационально же поставленных и описанных наблюдений над высотой и скоростью капиллярного поднятия воды в монолитах и в естественной залежи пока не имеется.

Перельс (Perels)¹ дает следующие величины высоты подъема воды в почвах капиллярными силами:

Крупно-песчаная почва	0,25—0,30 м
Суглинистая	0,45—0,60 »
Глинистая	1,00—1,25 »
Торфянистая	6,00 »

Однако показанная высота капиллярного поднятия воды для торфа в 6 м болотоведами и торфоведами подвергается 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. Шрейбер [143] 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. Пухнер [100] 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—50 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 10 лет наблюдений здесь получены следующие средние величины испарения (табл. 53):

¹ Perels. Handbuch des Landwirtschaftlichen Wasserbau.

Испарение по опытам Новгородской болотной станции (в мм)

Род поверхности	М е с я ц ы					Испарение за VI—IX (в мм)	Атмосфер- ные осадки за VI—IX (в мм)	Испарение за V—IX (в мм)
	V	VI	VII	VIII	IX			
Болото моховое	114,1	80,1	84,3	76,8	45,3	286	292	400
» переходное	97,0	100,5	96,4	84,3	43,8	325		422
Дуг искусственный	118,7	124,2	116,2	58,6	42,0	341		458
Рожь озимая	124,9	121,2	89,6	59,8	—	271		395
Овес	83,7	111,4	104,2	83,0	—	299		382
Черный пар	79,4	63,9	65,4	67,6	49,9	247		325

Таблица 54

Испарение по опытам в Василевичах (в мм)

Год	Песок без покрова		Песок с травяным покровом		Торф с ежегодным посевом овса		Испаритель Вильда в будке
	1-й сосуд	2-й сосуд	1-й сосуд	2-й сосуд	1-й сосуд	2-й сосуд	
1883	547	—	1805	1376	1079	1107	504
1884	516	501	—	1200	1135	1071	483
1885	584	549	1816	—	1922	1881	572
1886	532	526	1246	1301	1562	1647	498

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

Однако данные табл. 53 указывают еще на одно важное обстоятельство: атмосферных осадков за период июнь—сентябрь выпадает больше, чем может испариться воды с поверхности сфагнового болота; следовательно, с мохового болота за июнь—сентябрь, помимо снеговых вод, должен происходить сток дождевой воды.

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

Эти наблюдения с 1883 г. велись из сосудов, наполненных песком без растительного покрова, песком с травяным покровом и торфом с посевом овса [86].

Грунт помещался в цилиндрические сосуды площадью 1000 см² и высотой 35 см; на дно сосудов клались камни, покрываемые полотном, на которое 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.

Наблюдения, производившиеся в течение 4 лет, дали следующие величины испарения за период май—октябрь, приведенные в табл. 54.

Согласно Е. В. Оппокову [87], приведенные величины могут грешить в своих абсолютных значениях вследствие неудачной установки сосудов вровень с поверхностью земли, но взаимное соотношение величин признается им правильным. Выводы из этих данных очевидны. Площадь песка, покрытая травяной растительностью, и торф с посевом овса испаряют воды в два-три раза больше, чем открытая песчаная поверхность.

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

Для изучения испарения со сфагнового покрова Д. А. Герасимов [24] в 1923—24 гг. применял испарители Рыкачева цилиндрической формы, поперечного сечения 500 см² и глубиной 30 см. Число испарителей составляло 10; сфагновый покров был из *Sph. fuscum*, *Sph. parvifolium* и *Sph. medium*. Доливания воды не производилось. Рядом с испарителями ставились плошки с водой.

Наблюдения производились Торфяной опытной станцией на болоте Галицкий Мох, близ ж.-д. ст. Редькино. Результаты наблюдений даны в табл. 55.

Испарение с дернины различных видов сфагнума там же за три месяца наблюдений 1923 г. в испарителях Рыкачева дало следующие сравнительные величины испарения [26]:

Sph. medium	принято за 100
Sph. parvifolium	» » 88
Sph. fuscum	» » 82
Polytrichum commune	» » 73
Выпадение дождя	» » 109

Таблица 55

Суточное испарение (в мм)

Период наблюдений	Испарение со сфагнового покрова	Испарение с поверхности воды	Выпало дождя (в мм)	Испарение за весь период
48/VI—21/IX 1933 г. (96 суток)	1,9	—	2,3	180
8/VI—22/IX 1924 г. (107 суток)	1,7	1,4	1,7	183

В 1927 г. тем же методом и в том же месте получены следующие величины испарения с открытой поверхности и с поверхности, покрытой лесом [40] (табл. 56):

Таблица 56

Период наблюдений	Суточное испарение (в мм)				Осадки в среднем за сутки (в мм)	
	Безлесная площадь		Лесная площадь			
	Сфагно- вый монолит	Плошка с водой	Сфагно- вый монолит	Плошка с водой	Безлес- ная площадь	Лесная площадь
45/V—21/X 1927 г.	2,1	1,5	1,8	1,3	3,00	2,46

Данные, приведенные в табл. 55 и 56, весьма ясно показывают, что испарение со сфагновых монолитов было значительно меньшим, чем выпадало осадков, и большим, чем с поверхности свободной воды.

Д. А. Герасимов [26] указывает, что и по опытам Мальмстрема в Северной Швеции оказалось, что если испарение с поверхности воды принять за 100, то с поверхности сфагнума оно равно 121.

По наблюдениям в Восточной Сибири на ст. Бомнак (Северо-Амурская область), за время с 27/VI по 11/VIII 1909 г. оказалось, что испарение с болотных поверхностей значительно меньше величины выпавших осадков (табл. 57).

Хорошие сравнительно величины по испарению с различных поверхностей получены инж. Бефани. Суточное испарение на ст. Гош (Дальне-Восточный край) за период июнь—август 1930 г. оказалось следующим (условия опыта не указаны):

Открытое озеро	3,8 мм	Моховое болото	2,6 мм
Затененная водная по- верхность	1,5 »	Кустарниковая поверх- ность	2,3 »
Луг осоковый	2,7 »	Посев овса	5,3 »
Разнотравие осоковое	4,4 »	Будка Вильда	2,6 »

Таблица 57

Тип монолита	Испари- лось (в мм)	Выпало осадков (в мм)	Осталось в почве (в мм)
Сфагновый монолит . . .	102	189	87
Монолит с болотистого участка, с политрихумом и багульником	103	190	81
Монолит из листовного леса с багульником . . .	57	134	77

Приведенные данные показывают, что на Дальнем Востоке моховое болото испаряет меньше, чем открытая поверхность воды и посевы овса.

Обобщая материалы Новгородской и Редькинской опытных станций и данные по Восточной Сибири по испарению с монолитов в сосудах, получаем ясный вывод, что величина испарения со сфагновых монолитов меньше количества выпавших атмосферных осадков; поэтому сток даже летних вод со сфагнового болота является неизбежным.

Приведенные материалы испарения из сосудов типа испарителей Рыкачева дают величины испарения, заведомо не соответствующие действительному испарению с тех грунтов, монолиты из которых помещались в сосуды. Из описания опытов видно, что вставленные в испаритель монолиты оставались без смены в течение всего сезона наблюдений; испарение восполнялось в них или только атмосферными осадками, или приливанием воды до первоначального веса монолита. При этой методике влажность монолита через несколько дней после установки становится не той, какова в это время влажность болота, луга или поля, с поверхности которых хотят определить величину испарения.

Испарение со сменных монолитов

Десятилетние наблюдения на Новгородской болотной станции, хотя и дают ценный материал для сравнительного суждения о величинах испарения с разных поверхностей, но и они производились на бессменных в течение сезона монолитах, испарение с которых восполнялось атмосферными осадками. В таких условиях, при достаточно длительном сроке наблюдений, испарение окажется обязательно близким к величине атмосферных осадков за период наблюдений, отличаясь от него лишь на величину возможного испарения из запаса воды в монолите или на величину возможного накопления воды в монолите.

Чтобы показать испарение, соответствующее действительному

испарению с поверхности суши, монолит в сосуде должен иметь ту же влажность, что и верхний горизонт изучаемой поверхности; растительный покров также должен быть идентичен с покровом изучаемой поверхности. Соблюдение этих двух условий возможно лишь при каждодневной смене монолита; следует ежедневно вставлять в прибор Рыкачева свежевырезанный из грунта монолит.

Осуществить эту методику автор пытался в 1936 и 1937 гг. Монолит сменялся раз в 5 дней или еще реже, считая показателем истинного испарения наблюдение лишь за первые сутки нахождения монолита в сосуде. Однако осталось неустраненным второе методическое нарушение. Правильное показание испарения получается лишь при условии, что испаритель опущен в грунт возле того места, откуда был вырезан монолит. При исследовании испарения с разных поверхностей это приводит к разбросанности установок и к необходимости иметь при каждой установке надежно сохраняемые весы. Таких благоприятных возможностей не было, и монолиты, вырезавшиеся с разных поверхностей, приходилось устанавливать в одном пункте, на луговине, близ жилья, где сохранялись весы.

Наблюдения таким еще не совершенным методом, но все же со сменными монолитами, удалось организовать в 1936 г. в следующих пунктах:

1. Сиверский опытный леспромхоз (Онцевский участок) расположен в 67 км к Ю от Ленинграда. Монолиты вырезались с площадей трех видов:

- 1) из сфагнового, покрытого сосенкой, болота с преобладающим покровом из *Sph. recurvum*, при наличии пушицы и *Sph. Russowii*;
- 2) из заболоченной лесной площади, покрытой брусникой и политрихумом, с примесью *Sph. Russowii*;
- 3) из хорошей дерниной луговины, покрытой злаками и разнотравием.

Сечение монолитов 25×40 см, высота 30 см. Все сосуды с монолитами заглублялись вровень с поверхностью земли, на поляне среди леса, в ограде метеорологической станции, близ жилого дома. Поэтому действие ветра здесь было сильно ослаблено и соответствовало действительным условиям мест взятия монолитов. Смена монолитов за 4 месяца наблюдений была произведена 11 раз.

Величины испарения с разных поверхностей в этом пункте приведены в табл. 58.

Наблюдения в Сиверском леспромхозе за 1936 г. четко показали, что меньше всего испаряет сфагновый монолит, больше — политрихум с брусникой и еще больше — луговая дернина. Испарение с хорошего луга вдвое больше, чем с сфагнового болота. Замечательно еще то, что испарение со сфагнового болота в сухое лето 1936 г. оказалось меньшим, чем количество выпавших осадков.

2. Болото Гладкое расположено в 50 км к ЮЮВ от Ленинграда, в 5 км от ж.-д. ст. Саблино. Болото входит в состав учебной базы Ленинградского университета.

Монолиты вырезались: 1) из выпуклого сфагнового болота с преобладанием *Sph. medium*, при наличии клюквы, вереска и др.; 2) из хорошей луговой дернины с травами.

Испарение в Сиверском леспромхозе в 1936 г.

Месяц	Испарение за сутки (в мм)			Среднесуточные осадки (в мм)	Средняя температура
	Луговая дернина	Поли-трихум	Сфагнум		
Июнь	2,4	2,2	1,3	0,6	17°,9
Июль	2,7	2,1	1,3	2,1	19, 5
Август	1,8	1,4	0,7	1,8	15, 3
Сентябрь	1,0	0,9	0,6	1,5	8, 0
В сумме за 4 месяца	241	198	125	182	—
В сумме за июль—сентябрь	167,8	134	79,3	165	—

Сосуды были круглой формы, площадью 1000 см²; заглублялись они на поляне, слабо защищенной от ветра, близ жилья. За три месяца сосуды наполнялись три раза. Испарение в этом пункте за 1936 г. оказалось следующим (табл. 59).

Таблица 59

Испарение на болоте Гладкое

Месяц	Испарение за сутки (в мм)				Среднесуточные осадки (в мм)
	Луговая дернина		Сфагновый покров		
	1-й монолит	2-й монолит	1-й монолит	2-й монолит	
Июль	3,6	3,3	2,7	2,7	2,5
Август	2,5	2,3	1,3	1,5	1,5
Сентябрь	1,5	1,7	1,3	1,2	1,1
В сумме за 3 месяца	235	228	162	165	156

На Гладком болоте испарение со сфагнового монолита оказалось равным величине выпавших за те же месяцы осадков; несмотря на то, что 1936 г. был засушливым, испарение со сфагнового монолита получилось значительно меньшим, чем с хорошей луговой дернины.

3. Болото Пидебское (база ГГИ) расположено в 160 км к Ю от Ленинграда. Болото сфагновое, безлесное, с глубиной торфа до 3,5 м. Монолиты вырезались только из болота; испарители устанавливались на том же болоте, на открытом месте. За июль—сентябрь 1936 г. было сменено 16 пар монолитов, причем определение испарения производилось при каждой смене лишь за первые сутки после вставки монолитов в испаритель.

Средние величины суточного испарения в этом пункте даны в табл. 60.

Таблица 60

Испарение на Пидебском болоте

Месяц	Испарение за сутки (в мм)		Примечание
	1-й испаритель	2-й испаритель	
Июль	3,4	4,1	За сентябрь испарение не приводится, так как получены сомнительные величины.
Август	2,9	2,9	

Величины испарения с Пидебского болота оказались большими, чем с других болот; было ли причиной этого открытое место на болоте или большая водность монолитов, остается неизвестным.

4. Р а й о н с. О ш т а, близ юго-западной окраины Онежского озера (база Северного научно-исследовательского ин-та гидротехники и мелиорации). Один испаритель заполнялся 10 раз монолитами из торфяного болота переходного типа, с покровом из сфагнома, при наличии осок и др., второй испаритель заполнялся 8 раз монолитами с редкостойного скошенного луга на суглинистой почве; действие ветра ослабленное. Взвешивание производилось ежедневно.

Результаты в этом случае оказались другими: скошенный редкостойный приусадебный луг испарял во второй половине лета меньше, чем насыщенный водою монолит из переходного болота (табл. 61).

Таблица 61

Испарение в районе с. Ошта

Месяц (числа)	Испарение за сутки (в мм)		Среднесуточные осадки (в мм)	Примечание
	Луг скошенный	Болото переходное		
Июль (18—30)	—	3,3	1,6	Грунтовая вода на болоте стояла все лето очень близко к поверхности; низший горизонт был в период 12—15/VIII и стоял всего на 26 см ниже поверхности; это должно было влиять в сторону увеличения испарения.
Август (1—31)	—	2,1	0,7	
Август (7—31)	1,5	—	0,7	
Сентябрь (1—30)	1,2	2,0	1,8	
Октябрь (1—14)	0,0	0,8	1,6	

5. Б а с с е й н р. Л о в а т ь. По наблюдениям Гидрологического института в 1936 г., производившимся с ежедневной сменой

монолитов, здесь было получено такое же соотношение, а именно: уменьшение испарения с редкостойного скошенного луга.

Приведенные результаты наблюдений 1936 г. со сменными монолитами в 5 пунктах дают два нисходящих по величине испарения ряда:

Первый нисходящий ряд:

- а) луговая дернина с нескошенной травой,
- б) гипновый покров с брусникой,
- в) сфагновый покров (*Sph. medium*, *rescurvum*) с сопутствующей растительностью.

Второй нисходящий ряд:

- а) переходное болото (сфагнумы и осоки),
- б) редкостойный скошенный приусадебный луг.

Испарение из лизиметров

Употреблявшиеся для изучения испарения лизиметры представляют собой металлические ящики, глубиной обычно не менее 1 м, снабженные аппаратурой для наблюдения уровня грунтовой воды в них и для поддержания грунтовой воды на желаемом уровне приливанием или сливанием ее, смотря по балансу испарения и осадков. Ящики опускаются на землю, вровень с ее поверхностью, и располагаются обычно по обе стороны углубленной в землю галереи между ними. Величина испарения определяется или взвешиванием лизиметров, что достаточно громоздко вследствие их большого веса, или из уравнения — испарение равно: вода, подлитая для восстановления постоянного уровня в лизиметре, плюс вода атмосферных осадков, минус вытекшая из лизиметра через трубку избыточная вода, скопившаяся при обилии атмосферных осадков.

Преимущество лизиметров перед обычными испарителями заключается в том, что в лизиметрах может изучаться влияние различных уровней грунтовой воды на испарение. Однако следует отметить, что преимущество лизиметров использовано не полностью. Если задачей исследования является определение действительного испарения с болота, луга, пашни в условиях данного года, то в лизиметре, помимо того же растительного покрова, должен быть тот же уровень грунтовой воды, что и на соответствующем природном объекте. Поэтому необходимо вести наблюдение грунтовой воды на природном объекте и именно такой же горизонт воды, переменный в течение сезона, создавать в лизиметре; это условие не соблюдалось, а оно вполне осуществимо.

Лучшие лизиметрические наблюдения по испарению с болотных грунтов проведены Институтом болотного хозяйства на низинных болотах БССР.

В 1932—34 гг. С. А. Гарковский [19] проводил лизиметрические наблюдения на Комаровском болоте (близ г. Мииска). Лизиметры имели сечение 80 × 80 см и глубину 1 м; торф злако-осоково-тростникового происхождения набивался в лизиметры послойно.

В 1932 г. в лизиметрах был произведен посев тимopheевки и конопли; в последующие годы посевы конопли возобновлялись, а тимophe-

евка оставалась от первого посева. За июль — сентябрь 1932 г. (сухой год) испарение оказалось чрезвычайно большим (табл. 62).

Таблица 62

Испарение из лизиметров на Комаровском болоте в 1932 г.

Род поверхности	Суммарные (в мм)		Среднесуточные (в мм)	
	испарение	осадки	испарение	осадки
Посев тимофеевки	445	133	4,8	1,45
» конопли	566	133	6,1	1,45

За июль — октябрь 1933 г. (сырой год) испарение с закультивированных торфяных площадей оказалось также чрезвычайно большим по сравнению с величиной выпавших осадков и с испарением с открытой торфяной поверхности (табл. 63).

Таблица 63

Испарение из лизиметров на Комаровском болоте в 1933 г.

Род поверхности	Суммарные (в мм)		Среднесуточные (в мм)		Примечание
	испарение	осадки	испарение	осадки	
Посев тимофеевки (2-й год)	378	356	3,1	2,9	Средние величины получены при разных уровнях грунтовой воды: от 30 до 100 см от поверхности.
Посев конопли	543		4,4		
Открытый торф	145		1,2		
Открытая водная поверхность (в тени)	124		1,0		

С. П. Гарковский, производивший исследования, пишет: «...величина испарения в сырой год в общем несколько меньше, нежели в сухой. Однако же и в сырой, и в сухой годы испарение с почвы, покрытой растительностью, почти во всех случаях превосходит выпадающее за сезон количество осадков» [19].

Следовательно, культуры тимофеевки и конопли на низинном болоте расходуют весенние запасы воды в торфе и воду грунтового питания. К сожалению, в приведенных наблюдениях имеется поверхность «обнаженный торф», но нет лизиметра с естественным травяным покровом низинного болота.

Более подробные наблюдения над испарением проводились в мае — ноябре 1934 г. с теми же лизиметрами (табл. 64).

Для последующих заключений по гидрологическому режиму болот в их естественном и закультивированном состоянии существенно важно в приводимых материалах то, что величина испарения с закультивированных площадей, даже при уровнях воды на 80 см

ниже поверхности, значительно больше, чем количество выпадающих осадков.

Таблица 64

Суточное испарение (в мм) из лизиметров на Комаровском болоте в 1934 г.

Месяц	Посев тимо- феевки		Коноп- ля	Поверх- ность торфа		Осадки за сутки (в мм)	Приме- чание
	Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)						
	40	80	80	65	85		
Май	5,5	5,4	2,3	2,9	2,7	1,6	Посев тимо- феевки 1932 г.
Июнь	3,8	3,6	2,1	3,0	1,5	2,5	
Июль	5,7	5,8	9,0	3,1	1,8	4,3	
Август	3,4	3,7	12,7	1,7	0,5	1,3	
Сентябрь	3,4	2,9	5,9	1,6	0,7	1,0	
Октябрь	1,0	1,0	1,1	0,7	0,5	1,1	
Ноябрь	0	—0,09	0,14	0,3	—0,05	1,3	

Существенным недостатком приведенных и последующих материалов Института болотного хозяйства является отсутствие наблюдений над испарением с естественной растительности низинных болот. Задачей исследователя является не только констатация природного явления в численных его выражениях, но и прогноз последствий изменения естественных условий. Из приведенных же материалов нельзя прямым путем сделать существеннейшего прогноза о том, насколько и в какую сторону изменится величина испарения с низинного болота после занятия его сельскохозяйственными культурами.

Вторая серия лизиметрических наблюдений испарения в БССР произведена А. И. Ивицким на низинном болоте Загалье. Наблюдения велись по 11 лизиметрам-ящикам из оцинкованного железа, высотой 100 см, поперечным сечением 25 × 40 см. Края лизиметров были установлены вровень с поверхностью болота; лизиметры были снабжены водоналивными (не доходящими до дна на 5 см), водосливными и пьезометрическими трубками. Вода в лизиметрах поддерживалась на уровнях 20, 40, 60 и 80 см от поверхности. Испарение определялось с открытой торфяной поверхности и с посева тимофеевки по торфяной почве. Осадки учитывались дождемером, врытым в землю. Испарение вычислялось по количеству воды, подливаемой в лизиметры для восстановления уровня грунтовой воды, по величине выпадавших осадков и по количеству вытекавшей воды, в случаях превышения уровня после выпадения дождей.

Сводка суточного испарения из лизиметров на Загальском болоте приводится в табл. 65.

Приведенные величины испарения с торфа Загальского болота подтверждают уже получавшиеся соотношения: посев тимофеевки

за каждый месяц вегетации испарял воды больше, чем выпадало атмосферных осадков; даже при стоянии уровня грунтовой воды на 80 см ниже поверхности испарение с тимофеевки за май—сентябрь превышало величину осадков в среднем на 38%, а при уровне воды

Таблица 65

Суточное испарение (в мм) из лизиметров на Загальском болоте

Период наблюдений	Открытая торфяная поверхность				Тимофеевка на торфу				Осадки за сутки (в мм)
	Расстояние уровня грунтовой воды от поверх- ности (в см)								
	20	40	60	80	20	40	60	80	
1932 г.									
Сентябрь (2-я и 3-я декады) . .	—	2,6	1,6	1,6	—	2,4	2,0	1,6	1,35
Октябрь (1-я и 2-я декады) . .	—	0,8	0,6	—	—	1,2	1,3	1,4	3,65
1933 г.									
Июнь*	3,2	2,7	2,7	2,6	5,1	5,1	5,9	4,2	3,5
Июль*	4,2	3,7	2,3	2,1	7,8	7,2	7,2	4,7	2,4
Август*	3,5	2,1	1,4	2,7	3,6	3,1	3,4	3,7	3,1
1934 г.									
Июнь*	—	3,9	—	—	6,7	5,7	5,0	3,5	2,3
Июль*	—	3,3	—	—	5,5	4,7	4,8	5,3	4,2
Август*	—	2,7	—	—	5,1	4,4	4,6	3,6	3,6
Сентябрь*	—	2,5	—	—	—	4,1	3,3	1,4	0,08

в 40 см ниже поверхности — на 89%. Испарение с открытой торфяной поверхности близко к величине осадков; практического значения это не имеет, так как открытых поверхностей в природе не существует.

Третья серия лизиметрических наблюдений испарения в БССР проведена К. Я. Кожановым на низинном торфе болота Полота, в северной части БССР. Жестяные ящики, сечением 25 × 40 см, имели различные глубины (40, 50, 60, 80 и 100 см), рассчитанные таким образом, чтобы от дна ящика до горизонта грунтовой воды в нем было 20 см. Испарение определялось с торфяной поверхности без растительности методом приливания воды до установленного уровня. Опыт подтвердил сильную зависимость испарения с торфяной поверхности от уровня грунтовой воды, причем резкое снижение испарения обнаруживается с переходом уровня воды с 40 до 60 см ниже поверхности; величины испарения с торфа болота Полота приведены в табл. 66.

* Все декады.

Суточное испарение (в мм) из лизиметров на болоте Полота

Период наблюдений	Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)				
	20	30	40	60	80
1933 г.					
Август (1-я декада)	3,4	3,3	3,2	1,8	1,1
» (2-я »)	2,3	2,0	2,3	1,2	0,8
» (3-я »)	1,2	1,8	1,5	0,6	1,1
1934 г.					
Август (3-я декада)	2,4	2,5	2,2	1,2	1,2
Сентябрь (1-я »)	3,0	3,0	2,9	0,8	0,6
» (2-я »)	2,6	2,7	2,5	1,2	0,8
Октябрь (1-я »)	0,4	0,5	0,4	0	0,2
» (2-я »)	0,5	0,5	0,1	0,2	0,4
» (3-я »)	0,4	0,5	0,3	—	—

Новым в вышеприведенных трех сериях наблюдений Института болотного хозяйства явилось то, что они показали в числах влияние на испарение расстояния уровня грунтовой воды от поверхности; это влияние оказалось значительным, несмотря на считающееся большим капиллярное поднятие воды в низинном торфе. Рассматривая полученные величины испарения в связи с уровнем грунтовой воды, необходимо отметить значительное разнообразие их в каждой из трех серий опытов, лишающее возможности выразить количественно закономерности связи испарения с уровнем, кроме самой общей формулировки: чем ниже уровень грунтовой воды, тем меньше испарение.

Наблюдения Института болотного хозяйства подтвердили, кроме того, очень значительное увеличение испарения культурой тимофеевки и еще большее увеличение — культурой конопли. Культуры тимофеевки и конопли оказали вообще большее влияние на испарение, чем расстояние уровня грунтовой воды от поверхности.

Гидрологический метод определения испарения

Весь бассейн реки, если он сложен водонепроницаемыми грунтами, может считаться природным лизиметром. Учитывая выпадающие на поверхность бассейна реки осадки и сток с него, можно по получаемой разности вычислить величину испарения. Этим методом были получены годовые величины испарения для многих речных бассейнов СССР, Западной Европы и США; учитывая температуры и дефицит влажности воздуха, удается достаточно точно вычислить и помесечное испарение с речных бассейнов.

Таким образом для бассейна р. Волги до г. Ярославля П. С. Кузиным¹ были вычислены месячные высоты испарения (табл. 67).

Таблица 67

Испарение с бассейна р. Волги до г. Ярославля (1877—1930 гг.)

Месяц	Месячное испарение (в мм)	Среднее суточное испарение (в мм)	Месячные осадки (в мм)	Средняя месячная температура
Январь	2,78	0,09	27,5	—10°,8
Февраль	4,17	0,15	23,2	—9,7
Март	8,34	0,27	26,6	—5,4
Апрель	25,0	0,83	29,2	+2,8
Май	54,2	1,74	47,5	10,5
Июнь	61,2	2,04	69,6	14,9
Июль	65,3	2,10	78,0	17,3
Август	48,6	1,56	77,2	15,2
Сентябрь	27,8	0,93	60,6	9,7
Октябрь	13,9	0,45	48,2	3,3
Ноябрь	5,56	0,19	38,2	—2,8
Декабрь	2,78	0,09	34,0	—8,3
Год	240	—	560	—

Предварительно заметим, что величины испарения за май—сентябрь со всего бассейна р. Волги до г. Ярославля оказались близкими к величинам испарения из испарителей Рыкачева со сменными монолитами в Сиверском леспромпхозе, на болоте Гладком и в районе с. Ошты за 1936 г.

Обширный бассейн р. Волги до г. Ярославля, площадью 154 000 км², покрыт весьма разнородными почвами и разнообразной растительностью.

Для рассмотрения вопроса об испарении с болот следует получить величины осадков и стока по возможно малому бассейну, наибольшая площадь которого занята болотами и где подстилающим грунтом являются водонепроницаемые глины.

Для означенной цели автором были организованы проведенные в 1934—37 гг. наблюдения над стоком с 2 лесо-болотных площадей в Сиверском опытном леспромпхозе, в 67 км к Ю от Ленинграда.

Сток воды с каждой площади определялся по водосливу в виде прямоугольного выреза в шпунтовой стенке из пластин, забитых поперек канавы.

Каждый из водосборов характеризуется нижеследующими величинами и признаками (табл. 68).

Рассматриваемые два бассейна близки по величине площади и по заболоченности, одинаковы по степени канализации, но сильно отличаются по величине уклона; водосбор водослива в 20-м квартале

¹ Кузи́н П. С. График испарения с поверхности речного бассейна и его применение к расчету среднего многолетнего стока. Записки Гос. гидрологического ин-та, т. XII, 1934.

	Водослив в 20-м квартале	Водослив в 37-м квартале
Местонахождение бассейна (№№ кварталов) .	31, 21, 20	46, 39, 37
Величина водосборной площади (в га)	108	118
Наибольшее протяжение (в м)	2000	1600
Средний уклон по наибольшему протяжению	0,0047	0,0027
Протяжение канав, приходящееся на 100 га водосбора (в км)	3,7	3,6
Занято сфагновым болотом, покрытым редким сосновым древостоем V и IV бонитета (в % от площади водосбора)	37	47
Занято сосновым лесом III и IV бонитета на минеральном (песчаном и глинистом) грунте (в % от площади водосбора)	63	30
Занято вырубками (в % от площади водосбора)	—	23
Возраст леса (лет)	20—80	до 20
Глубина торфа (в м)	до 0,8, чаще 0,5	до 0,8, чаще 0,6
Подстилающий грунт	Валунистый суглинок	Валунистый суглинок

имеет очень большой уклон в верхней части и меньший — в нижней, где и сосредоточено болото. Водосбор водослива в 37-м квартале, наоборот, имеет большой уклон в нижней части, а болото сосредоточено в верхней. Очень различна также лесистость: к водосливу в 20-м квартале вода стекает с болота, покрытого плоским сосновым лесом, с вырубки и с молодняка на заболоченных площадях; водосбор водослива в 20-м квартале суше, — здесь имеются сосновые древостои на песчаных и глинистых почвах.

Атмосферные осадки определялись на метеорологической станции, находящейся в 1,6 км от водослива в 20-м квартале и в 3,7 км от водослива в 37-м квартале. Разность месячных величин стока и атмосферных осадков дает высоты испарения, приведенные в табл. 69.

Данные этой таблицы позволяют сделать следующие выводы:

1. Осадки за июнь — август 1935 г. испарились почти нацело, дав среднюю суточную высоту испарения 2,4 мм.

2. Осадки за июль — сентябрь 1936 г., в количестве 164 мм, испарились нацело, что дает 1,8 мм за сутки; однако в эти засушливые месяцы испарение происходило несомненно еще и за счет запаса влаги в бассейне, что не могло быть учтено рассматриваемым методом; особенно это относится к июню 1936 г.

3. Наибольшее среднее суточное испарение по разности осадков и стока вычислено за сентябрь 1935 г. равным 3,3 мм, при осадках за месяц 179 мм; однако полученная величина испарения несомненно преувеличена, так как, при необычайно большой величине осадков в сентябре, некоторая доля их пошла безусловно на накопление влаги в бассейне.

Испарение с Онцевского болота

Месяц	Испарение (в мм)		Осадки за месяц (в мм)	Средняя месячная температу- ра	
	за месяц	за сутки			
1935 г.	Май	53	1,7	101	7°,3
	Июнь	57	1,9	65	16,5
	Июль	87	2,8	97	
	Август	75	2,4	81	15,4
	Сентябрь	100	3,3	179	9,8
	Октябрь	35	1,1	73	7,4
	Ноябрь	—1	0	14	ниже 0°
1936 г.	Май	35	1,1	46	11,0
	Июнь	17	0,6	18	17,9
	Июль	64	2,1	64	19,5
	Август	55	1,8	55	15,3
	Сентябрь	45	1,5	45	8,0
	Октябрь	78	2,5	81	1,3
	Ноябрь	27	0,9	33	1,0

4. Следующее по величине среднее суточное испарение за месяц вычислено за июль 1935 г. равным 2,8 мм, при высоте осадков 97 мм; эту величину испарения имеется основание считать близкой к действительности; выпавшие осадки (97 мм) превышают многолетнюю июльскую норму для Слуцка (70 мм), но и сток за июль (10 мм) также превысил норму.

5. Большая величина испарения, вычисленная для осенних месяцев 1936 г., не соответствует действительности, так как осенью часть выпадающих атмосферных осадков шла после засушливого лета на накопление, а при вычислениях принималось, что все осадки расходуются на сток и испарение.

6. Просматривая весь ряд испарения за летние месяцы с лесоболотного бассейна, убеждаемся, что величины 1,5—2,8 мм соответствуют величинам испарения, наблюдаемым по испарителям системы Рыкачева и по лизиметрам; это дает основание полагать, что действительная величина испарения близка к полученным результатам наблюдений.

7. Величина испарения с лесоболотных водосборов за май — август не очень сильно отличается от величин испарения со всего бассейна р. Волги до г. Ярославля.

Сравнение величин испарения с болота и луга по влажности воздуха

Совершенно иначе подошла к выяснению сравнительного испарения с различных площадей Кафедра климатологии Ленинградского университета. Группа студентов, под руководством проф. А. А. Каминского и доц. Л. Х. Завадовского, производила в 1933 и 1934 гг. регулярные наблюдения над влажностью воздуха над сфагновым

болотом, над лугом и в лесу. Местом наблюдения являлось сфагновое болото Гладкое (50 км на ЮЮВ от г. Ленинграда), с глубиной торфа до 8 м, покрытого сфагновым мхом (*Sph. medium*), клюквой, морошкой, подбелом, багульником, водяной, пушицей и редкими болотными сосенками; высота поверхности болота над уровнем моря 37,5 м.

Луговой участок был выбран при метеорологической станции, в нескольких километрах от болота, на суходоле. Наблюдения над влажностью велись посредством аспирометра Ассмана на высоте 0,5, 1,0 и 2,0 м над поверхностью болота и луга, в июле 1934 г. ежедневно (с 7 до 21 часа), в августе — через 2 часа. Сводка полученных данных о разностях относительной влажности воздуха над болотом и лугом приведена в табл. 70. Данные таблицы являются результатом разности влажности над болотом и лугом (болото минус луг).

Таблица 70

Разность относительной влажности над болотом и лугом (в %)

Месяц	Высота над поверхностью земли (в м)	Часы наблюдений							
		7	9	11	13	15	17	19	21
Июль . . .	2,0	+5	+1	0	-2	+1	-3	-1	-2
	1,0	0	-2	-3	-2	-1	0	+2	+3
Август . .	0,5	-1	-2	-3	-1	-3	-1	+1	+5
	2,0	+1	+1	-1	+1	-2	0	-1	+5
	1,0	+1	-2	-3	+1	-3	0	+4	+5
	0,5	-3	-2	-2	-3	-2	+2	+4	+3

Примечание. Знак плюс означает, что влажность над болотом была больше, а знак минус — меньше, чем над лугом.

Данные таблицы указывают, что в утренние часы на высоте 2 м влажность над болотом больше, чем над лугом, а у поверхности болота меньше; это значит, повидимому, что туман поднимается вверх. В полуденные часы влажность над болотом меньше, чем над лугом. Это обстоятельство должно обратить на себя особое внимание; оно указывает, что испарение со сфагнового болота было меньше, чем с луговой дернины. Действительно, днем воздух над сфагновым болотом вполне прозрачен, но к вечеру влажность над болотом увеличивается в большей мере, чем над лугом, и происходит образование тумана.

Кроме ежедневных стационарных наблюдений на опорных точках болота и луга, этой же группой студентов производились и маршрутные наблюдения, с одновременным определением температуры и влажности на болоте, дернинном лугу и в еловом лесу, с примесью сосны и березы на суходоле. Относительная влажность по маршрутному наблюдению 25/VII 1934 г. оказалась следующей (табл. 71).

Маршрутные исследования также показали, что относительная влажность над сфагновым болотом в дневные часы меньше, чем в

лесу и над дернинным лугом; после скоса травы влажность над лугом почти выровнялась с болотом, следовательно, испарителем является именно травяная растительность.

Большая влажность воздуха в еловом лесу может объясняться не усиленным испарением, а застоём воздуха; поэтому сравнения болота с лесом по этим материалам производить нельзя.

Проф. А. А. Каминский в письменном докладе, присланном на Конференцию о водорегулирующем значении леса, состоявшуюся в 1935 г. при Центральном научно-исследовательском институте лесного хозяйства, определенно высказался, что высокую влажность воздуха над лугом можно объяснить лишь бóльшим испарением с него.

Таблица 71

Относительная влажность над болотом, лугом и в лесу (в %)

Место наблюдений	Высота над поверх- ностью земли (в м)	Часы наблюдений					Среднее
		11	12	13	14	15	
Сфагновое болото . .	2	62	64	58	64	62	—
	4	55	59	59	61	63	—
	0,5	68	61	61	61	66	—
Лес еловый	2	—3	—9	—4	—3	—4	—
	4	—18	—4	—7	—12	—4	—10
	0,5	—19	—5	—6	—20	—7	—13
Луг дернинный . . .	2	—3	—1	—11	—1	—6	—4
	4	—13	—1	—1	—5	—3	—5
	0,5	—1	—3	0	—1	0	—3

Примечание. Знак минус указывает, что в лесу или над лугом влажность была больше, чем над болотом.

Наряду с материалами Кафедры климатологии Ленинградского университета имеется сводка метеорологических наблюдений за 1923—27 гг. по Новгородской болотной станции [103], дающая как бы иной результат. Данные о влажности воздуха на болоте и на суходоле, в 8 км от него, но также по соседству с болотами, приведены в табл. 72.

Таблица 72

Влажность воздуха (в %)

Месяц	Болото	Суходол
Май	72	71,7
Июнь	74	73,1
Июль	74	72,6
Август	81	79
Сентябрь	85	86
Октябрь	86	87,0

Средняя месячная влажность на болоте оказалась на 1% выше, чем на суходоле, что находится в пределах возможной ошибки. Эти величины влажности получены как средние из трех (за каждые сутки) наблюдений: рано утром, в полдень и вечером; к сожалению, не показаны отдельно полудневные влажности; при равенстве суточной влажности на болоте и на суходоле полудневные влажности на болоте и здесь были вероятно меньшими, чем на суходоле.

Выводы

1. Величина испарения с поверхности земли и растительного покрова зависит от многих метеорологических и почвенных факторов.

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

К почвенным факторам относятся: 1) крупность частиц почвы (мелкозернистые почвы испаряют больше), 2) строение почвогрунта (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 грунта, 10) положение уровня грунтовой воды, 11) сопротивление смачиванию, 12) направление склона поверхности.

2. При суждениях о величинах испарения с болот необходимо иметь в виду различные свойства в этом отношении сфагновых и травяных болот; недостаточное разграничение этих болот является в значительной мере причиной противоположных суждений гидрологов об испарении с болот и о влиянии их на сток.

3. Из перечисленных факторов, влияющих на испарение, преобладающее значение имеют два из них, подвергающиеся воздействию человека при его производственной работе: 1) характер покрова почвы и 2) влажность почвогрунта. Воздействуя на покров и влажность почвы агрокультурными, лесокультурными и инженерно-техническими (мелиорация) работами, можно существеннейшим образом изменить испарение с поверхности данной территории, изменяя также этим объем и распределение стока воды с территории.

4. Вся основная полукустарниковая растительность сфагновых болот: багульник, подбел, вереск, а также растущая на сфагновом болоте сосна обладают признаками, указывающими на ксерофитный характер этих растений, т. е. на малое потребление ими воды.

5. Материалы наблюдений испарения из сосудов с постоянными монолитами (Новгородская станция, Редькинская станция, Западная экспедиция, Дальне-Восточный край, зарубежные данные), из сосудов со сменными монолитами (Сиверское лесничество, Гладкое болото), из лизиметров (Институт болотного хозяйства) указывают на то, что испарение с монолитов из сфагнового болота значительно меньше, чем испарение с монолитов с луговой поверхности, с развитым травостоем.

6. Наблюдения влажности воздуха в дневные часы над сфагновым болотом и над лугом также указали на меньшее испарение со сфагнового болота по сравнению с лугом с наличием травостоя.

7. Некоторые наблюдения (у с. Ошта, в бассейне р. Ловать) и в испарителях со сменными монолитами показали, что переходные болота и, повидимому, даже сфагновые испаряли больше, чем скошенный редкостойный луг.

8. По величине испарения за вегетационный период можно ориентировочно составить в нисходящем порядке следующий ряд:

Культура конопли.

Культура тимофеевки (и кормовых смесей).

Естественный луговой покров и травяное болото.

Зерновые культуры.

Гипновый покров.

Сфагновый покров с сопутствующей растительностью.

Песчаная открытая почва и паровое поле (вспаханное, с взрыхленной поверхностью, без посева).

9. Испарение воды со всех видов почв находится еще в очень большой зависимости от влажности почво-грунта, которая в свою очередь сильно зависит от уровня грунтовой воды (болота Загальское, Полота, Комаровское); например, естественный луг в годы с низким уровнем воды испарит меньше, чем сфагновое болото в год высокого уровня воды. Поэтому вышеприведенный нисходящий ряд справедлив лишь при сопоставлении испарения за один и тот же год.

10. Испарение с монолитов из сфагнового болота за май — сентябрь оказывается меньшим, чем величина выпадающих за то же время атмосферных осадков (Редькино, Швеция. сг. Бомнак, Сиверский леспромхоз, Новгород), поэтому со сфагновых болот даже за вегетационный период неизбежен сток дождевой воды.

11. Испарение со сфагнового болота за вегетационный период примерно равно испарению с водной поверхности.

12. Испарение с естественной луговой дернины, а тем более с поверхности культивируемых травяных смесей, за вегетационный период везде значительно большее, чем выпадение за это же время атмосферных осадков (Новгород, Василевичи, Комаровское болото, Загальское болото, Гладкое болото, Сиверский леспромхоз), поэтому луговая дернина и поле под кормовыми смесями за лето просыхают.

13. Судя по составу растительности и по высоте уровня грунтовой воды, положение о более значительном испарении по сравнению с выпадающими осадками следует отнести и к травяным болотам, которые поэтому являются испарителями не только выпадающей на их поверхность влаги, но и поступающей в эти болота влаги со стороны.

14. Достаточная согласованность величин суточного испарения, полученных методами постоянных монолитов, сменных монолитов, лизиметров и методом учета стока, дает основание полагать, что полученные данные близки к действительным величинам испарения воды с рассмотренных поверхностей: сфагновое болото, луг, поле.

15. Приведенные положения в последующем сочетании с другими свойствами болот и с материалами по стоку дадут возможность прийти к выводам о гидрологической роли болот в их естественном, в канализованном и в закультивированном состоянии.

16. Здесь все же можно предварительно и достаточно уверенно наметить важнейшее обстоятельство, что культивирование болот увеличит испарение с них и этим самым уменьшит суммарный сток. Но было бы преждевременно делать отсюда заключение о вреде, с гидрологической точки зрения, осушения и культивирования болот.

ГЛАВА VIII

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ В ТОРФЯНОМ ГРУНТЕ БОЛОТА

Предварительные соображения

В предыдущей главе было показано, что с поверхности сфагновых болот испарение за май — сентябрь, по наблюдениям с монолитов, меньше, чем величина выпадающих за это же время атмосферных осадков; поэтому со сфагнового болота неизбежен сток не только снеговой, но и дождевой воды.

При наличии на сфагновых болотах слоя неразложившегося еще в торф мха (слоя очеса), самые сильные дожди, выпадающие на поверхности сфагноума, проходят целиком вниз и идут на пополнение грунтовой воды. Грунтовая вода движется к периферии болота, где выходит наружу и, при затруднении в стоке, делает окраину сфагнового болота трудно проходимой. Вопрос о водопроницаемости торфа решался еще недавно чрезвычайно различно.

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) и 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) и б) влагоемкие: (глина, торф, лёсс).

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 жирная глина воду фильтровать не будет; насыщенная водою глина для воды практически непроницаема.

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

С. Н. Никитин [81] причислял торф к породам проницаемым, влагоемким и делал из этого соответствующий вывод: торф поглощает воду дождей и снега и отдает ее затем в течение лета рекам как грунтовую; торфяное болото, следовательно, благоприятствует летнему питанию рек.

Наряду с таким суждением, имелось и другое, 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, отдавая на питание рек лишь очень малую долю [85].

Это различие в мнениях относительно водопроницаемости торфяного грунта может быть разрешено только путем опыта и наблюдений.

Шрейбер [143] пишет: «Водопроницаемость насыщенного водою торфа часто превосходит непроницаемость коллоидальной глины. Молодой сфагновый торф, вследствие сохранения структуры растений, имеет большую водопроницаемость, чем разложившийся торф, потерявший структуру».

Коэффициент фильтрации

Водопроницаемость грунта численно выражается коэффициентом фильтрации грунта. Французский гидравлик Дарси в 1853 г. для выражения скорости движения воды в грунтах составил простую формулу:

$$v = K \cdot \frac{h}{l},$$

где v — условная скорость движения грунтовой воды, обычно выражаемая в этой формуле в см/сек.,

l — протяжение пути фильтрации воды,

h — разность пьезометрического напора в начале и конце рассматриваемого отрезка пути, выражаемая в тех же линейных мерах, что и l .

Следовательно, $\frac{h}{l}$ — гидравлический уклон грунтового потока, выражаемый через I . Иначе говоря, I есть градиент падения пьезометрического напора.

K — коэффициент фильтрации, равный в первоначальном толковании Дарси диаметру песчинок, выраженному в метрах; т. е. если иметь дело с песком, размер зерен которого равен 1 мм, то коэффициент фильтрации K равен в грубом приближении 0,001.

Приведенная формула Дарси дана им для песчаных грунтов водопроводных фильтров, но получила затем распространенное применение для всякого рода грунтов. Диаметр частиц грунта, даже чисто песчаного, весьма разнообразен; поэтому Хазеном (Hazen) было введено понятие «действующего диаметра» грунта, величина которого определяется механическим анализом. Если естественную породу разбить на фракции при помощи сита, то диаметр того сита, которое пропускает через себя только 10% песчинок, а остальные 90% задерживает, и считается действующим диаметром породы. При действующем диаметре породы более 3 мм движение воды через породу отступает уже от формулы Дарси, приближаясь постепенно к условиям турбулентного движения по трубам.

При наличии ясно сформулированных ограничений применимости формулы Дарси для песчаных грунтов, еще более ограниченное применение эта формула должна бы получить в торфяных грунтах, которые совсем не имеют зернистого строения.

Торфяная толща обладает сложной структурой: слои различной степени разложения налегают друг на друга без последовательного порядка; ниже находятся иногда слои меньшего разложения, а так называемые «обращенные» торфяники имеют целые толщи слабо разложившегося сфагнома под верхним, более разложившимся слоем сфагнома. Различная степень разложения и зольность, а также различие в растениях - торфообразователях создают различную послойную водопроницаемость торфяной залежи. 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.

Однако, ввиду отсутствия других, более конкретных предложений, формула Дарси применяется и к торфяным грунтам.

Итак, для сравнительной характеристики водопроницаемости различных грунтов необходимо определение для этих грунтов величины K — коэффициента фильтрации, которое ведется лабораторными и полевыми методами.

Лабораторные определения коэффициента фильтрации

Первые детальные опыты над просачиванием воды через торф были произведены в 1926—27 гг. Институтом сельскохозяйственных мелiorаций в Москве.

Испытывавшиеся монолиты заливались смесью парафина, канифоли и вара, образовавшей вокруг монолита плотно прилегающую пленку, не допускающую просачивания воды между торфом и стенкой, после чего монолит заключался в деревянный ящик. Вода

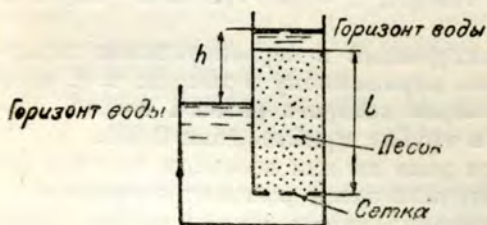


Рис. 14. Схема лабораторного определения коэффициента фильтрации.

Вода на площадь поперечного сечения (F) монолита, с учетом времени, давала условную скорость фильтрации через монолит без

учета порозности его:
$$v = \frac{Q}{F}.$$

Подставляя в формулу Дарси $v = K \frac{h}{l}$ получаемые из опыта величины v , h и l , вычисляют затем коэффициент фильтрации

$$K = \frac{v \cdot l}{h}.$$

Так как движение воды происходит только по порам грунта, то для получения действительной скорости движения по грунту получаемый результат следует делить на порозность грунта в десятичной дробь.

Опыты были произведены над многими торфяными монолитами. Часть монолитов вырезалась из торфяной залежи в вертикальном направлении, часть — в горизонтальном.

1. М о н о л и т, вертикально вырезанный из Оршинского болота (Калининская область). Высота монолита после осадки 178 см; торф сфагново-пушицевый, слоистый, разложённость средняя, зольность 1,51 — 4,23%, полная влагоемкость 522—889% (разная по слоям), удельный вес 1,29 — 1,35.

Через двое суток после пуска воды коэффициент фильтрации, вычисленный, как указано выше, по объему просочившейся воды, определился в 0,00132 см/сек.; через 12 суток коэффициент фильтрации оказался всего лишь 0,00018 см/сек., через 18 суток еще меньшим — 0,000058 см/сек.

2. М о н о л и т, вертикально вырезанный из того же Оршинского болота. Высота после осадки 2,34 м, площадь сечения 15×19 см; торф пушицево-сфагновый, зольность 1,41 — 2,75%, разложённость 25—40%, удельный вес 1,2, полная влагоемкость 651 — 1414%.

Опыт производился более года. Коэффициент фильтрации уменьшался от начальной величины 0,0010 до 0,00085 см/сек.

3. М о н о л и т № 5, горизонтально вырезанный с глубины 0,70 м из Замошского осоково-гипнового болота (Ленинградская область); первоначальная длина монолита 1 м, после осадки 0,86 м, поперечное сечение $14,6 \times 12 = 175$ см².

Характеристика торфа:

Зольность	6,2%	Порозность	0,77
Удельный вес	1,39	Полная влагоемкость	964%
Каждущийся удельный вес	0,32	Разложённость	69%

Коэффициент фильтрации оказался равным: в начале опыта 0,00120 см/сек., в конце опыта, через три месяца, — 0,000001 см/сек., т. е. практически монолит стал водонепроницаемым.

4. М о н о л и т № 3, горизонтально вырезанный из того же Замошского болота; торф также осоково-гипновый, но менее разложившийся.

Характеристика торфа верхней и нижней половины монолита:

Зольность	3,7—4,6%	Порозность	0,89—0,76
Удельный вес	1,29—1,38	Полная влагоемкость	1113—700%
Каждущийся удельный вес	0,16—0,32	Разложённость	24—69%

Коэффициент фильтрации за первые 8 часов опыта составил 0,0031 см/сек., через два месяца — 0,00013 см/сек.

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 водонепроницаемость 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 беспрерывной 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. 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.

5. Чем плотнее торф, тем дольше 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 большое практическое значение и объясняет, почему действие осушительных канав в торфяном грунте возрастает с течением времени. Прорезанный канавой и 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 монолитах дают случайные величины коэффициента фильтрации, меняющиеся в зависимости от продолжительности насыщения торфа водой, от напора, от разложения торфа и от включений в нем.

Величина v — скорость движения воды в формуле Дарси — выражает условную скорость, соответствующую движению воды

по всему сечению монолита, так как $v = \frac{Q}{F}$, где F — площадь

поперечного сечения монолита. В действительности же вода движется в торфе, как и во всяком теле, только по порам, и потому для получения представления о действительной скорости течения воды в монолите расход Q следует делить на площадь пор поперечного сечения грунта, которая получается умножением площади сечения монолита на порозность.

Поэтому $v_{\text{действ.}} = \frac{Q}{F \cdot p}$, где p — порозность, выраженная в десятичной дроби.

В горизонтально вырезанном монолите № 5 с Замошского болота, при коэффициенте фильтрации в нем $K = 0,0012$ см/сек., по-

розности 0,77 и гидравлическом уклоне $I = \frac{h}{l} = 1$, условная скорость фильтрации воды по монолиту равна:

$$v_{\text{усл.}} = K \cdot \frac{h}{l} = 0,0012 \cdot 1 = 0,0012 \text{ см/сек.};$$

действительная же скорость прохождения воды через монолит составляет:

$$v_{\text{действ.}} = \frac{0,0012}{0,77} = 0,0016 \text{ см/сек.}, \text{ или } 1,38 \text{ м/сутки.}$$

В монолите № 3 с Замошского болота действительная скорость движения воды вычисляется равной 3,43 м за сутки.

Метод вырезки проб

Метод определения коэффициента фильтрации через монолиты имеет вариации; вместо выкапывания крупных вертикальных и горизонтальных монолитов с заключением их затем в парафиновую оболочку и помещением в футляр-ящик, применяют метод вырезки небольших проб посредством железных цилиндров-стаканов с острыми краями. Погрузив цилиндр в торфяную залежь, извлекают его вместе с вошедшей в него пробой торфа; затем в лаборатории устанавливают цилиндр вместе с монолитом вертикально и пропускают через монолит воду под постоянным напором.

Взятие проб торфа цилиндром производится как вертикально, так и горизонтально. В последнем случае предварительно вырывается яма с вертикальной стенкой и в стенку ямы вдавливаются цилиндр. Таким методом производится «послойное» определение коэффициента фильтрации и других свойств торфяной залежи.

Метод вырезки проб имеет в последнее время широкое применение; в БССР сотрудниками Института болотного хозяйства Кожановым и Ивицким образцы торфа вырезались из залежи цилиндрическими трубками диаметром 5, 10 и 20 см, длиной 20—30 см; в этих же трубках велось и наблюдение фильтрации.

Этим методом А. И. Ивицким получены следующие величины коэффициента фильтрации для болот низинного типа в южной части БССР (табл. 73).

Таблица 73

Коэффициент фильтрации K (в см/сек.)		
Расстояние слоя от поверхности (в см)	Загальское болото	Погонное болото
15—35	0,00116	0,00119
40—70	0,000826	0,000702
70—100	0,000322	0,000523
Подстилающий песок	—	0,0022

К. Я. Кожановым для северной части БССР получены следующие коэффициенты фильтрации, средние для слоя залежи, мощностью в 160 см:

Болото Полота, урочище Совинный остров; торф гинново-осоковый, слабо разложившийся . . .	$K=0,00296$ см/сек.
Болото Полота, урочище Судино; торф дре- весно-тростниково-осоковый, среднего разло- жения	$K=0,00096$ »
Толочинский опытный пункт; торф гинново- осоковый, среднего разложения	$K=0,0016-0,00223$ см/сек
Минская болотная станция; торф травяно-осо- ковый, среднего разложения	$K=0,00068-0,00104$ »

Общее число определений коэффициента фильтрации торфов ла-
бораторным методом очень значительно, и результаты их чрезвы-
чайно различны.

Людеке [135] определил коэффициент фильтрации торфа от
0,000015 см/сек. до нуля. Им же указывается, что по опытам
Вольни коэффициент фильтрации для торфа вычислен равным
0,00001 см/сек.

А. Ф. Лебедев определил коэффициент фильтрации для хорошо
разложившихся торфов по Беломорско-Балтийскому каналу равным
 $K=0,00005-0,000065$ см/сек.

В проекте мелиоративных норм НКЗ СССР 1934 г. А. Д. Бру-
дастовым предложены следующие величины коэффициента филь-
трации для торфа:

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

Для сравнения приводим коэффициент фильтрации минераль-
ных 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 »

Терцаги дает:

Для мелкого песка (66% частиц мельче 0,333 мм, действительный диаметр 0,152 мм)	0,0172 м/сек.
Для грубого песка (действительный диаметр 0,40 мм)	0,12 »
Для отложений на речном дне (диаметром 0,147 мм)	0,016 »

Назими, по данным наблюдений в фильтрах Лондона, Па-
рижа и Берлина, дает:

	% пустот	K , 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

Принц (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 »
» » 0,1—0,8 мм	0,0088 »

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

Приведенные материалы лабораторных исследований дают возможность провести сравнение водопроницаемости разных грунтов и в некоторой мере разрешить прежние дискуссии об условиях движения воды в торфяной залежи. Оказалось, что монолиты сфагнового и осокового торфа, слабо разложившегося, имеют достаточно большой коэффициент фильтрации, — до 0,003 см/сек., аналогично песчано-глинистым грунтам; сильно же разложившиеся торфа показали в монолитах очень малые, практически близкие к нулю, коэффициенты фильтрации, аналогично глинам.

Толщи слабо- и средне-разложившегося торфа, особенно сфагновых болот, достигают нескольких метров; поэтому питание рек стоком грунтовой воды со сфагновых болот может идти в заметном раз-
мере; сток же грунтовых вод с сильно разложившихся травяных болот, а также с сильно разложившихся сфагновых, происходит чрезвычайно замедленно и практически близок к нулю.

К р и т и к а м е т о д а м о н о л и т о в

Хотя монолиты вырезались из торфяной залежи и заключались затем в непроницаемую оболочку без нарушения структуры, тем не менее метод монолитов вызывает ряд серьезных возражений:

1) Движение воды в торфяной залежи происходит как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, причем с различной скоростью в разных преслойках, в то время как монолиты вырезаются или вертикально, или горизонтально.

2) При лабораторном опыте монолит помещается в прочную оболочку, поэтому объем его не может увеличиваться при насыщении водою, как это происходит в натуральной залежи.

3) Из заключенного в оболочку монолита затруднено вытеснение воздуха, наличие которого сильно уменьшает фильтрацию.

4) Помещая монолит при испытании на фильтрацию вертикально или горизонтально, получают разные результаты.

5) При лабораторных опытах монолит насыщен напорною водою с поверхности, что не всегда соответствует естественным условиям.

В довершение к этому, лабораторное исследование значительно сложнее, чем полевое и требует вырезки монолита, доставки его в ящиках в лабораторию, заливку водонепроницаемым составом, заделку в футляры, длительную процедуру пропускания воды через

монолит, в связи с чем необходима специальная проводка воды; и все это — для получения условных результатов. Взятие проб торфа металлическими стаканами с последующим испытанием в них облегчает процедуру, но не может дать коэффициент фильтрации залежи.

Пункт 4-й замечаний требует некоторого пояснения. По опытам А. В. Николаева в Северном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации в 1935 г. оказалось, что монолиты из глины, поставленные вертикально, показывают скорость просачивания значительно меньшую, чем те же монолиты, испытывающиеся в горизонтальном положении, при том же гидравлическом уклоне; разница получалась в 2—8 раз.

Вполне естественно а priori полагать, что столб свободной воды высотой h оказывает большее давление, чем столб воды той же высоты h , но проходящей через грунт.

Полевые методы определения коэффициента фильтрации

Только полевые методы определения фильтрации в самой залежи торфа могут дать действительные величины фильтрации, наиболее надежные к применению при проектировании осушения болот и для суждений о питании рек грунтовыми водами с болот. Лабораторные методы определения фильтрации торфа, в их упрощенных формах, могут применяться как вспомогательные средства, после того как будут установлены соотношения между показаниями лабораторных исследований и полевых определений в самой залежи торфа.

Из полевых методов определения коэффициента фильтрации имеют применение:

1) Метод откачки воды из скважины с поддержанием постоянного уровня воды в скважине (метод откачки).

2) Метод наблюдения поднятия воды в скважине после предварительной откачки (метод восстановления горизонта).

3) Метод наблюдения вертикальной фильтрации через залежь торфа.

4) Метод наблюдения стока грунтовой воды по дренам или каналам (метод стока).

Определение коэффициента фильтрации методом откачки воды из скважины с поддержанием постоянного уровня воды в скважине (метод откачки).

Для определения коэффициента фильтрации минеральных грунтов метод откачки с поддержанием уровня воды в скважине является весьма распространенным и изложен во всех курсах гидрогеологии. В торфяных залежах этот метод применялся в качестве основного Государственным гидрологическим институтом в 1933—36 гг. при изучении фильтрации залежей в окрестностях Ленинграда.

Наиболее правильно были поставлены исследования в 1935 и 1936 гг. под руководством автора на болоте Гладком, в 45 км к ЮЮВ от Ленинграда.

На болоте было выбрано три пункта исследований, или, как далее они именуются, — три системы. Каждая система состояла из центральной скважины (глубиной 3 м, диаметром 32—40 см) и лучевых скважин (диаметром 10,7 см, глубиной по 3 м), расположенных по четырем радиусам от центральной, в расстоянии от центральной скважины: 0,20, 0,50, 1,00, 1,50, 2,00, 3,00, 5,00 и 7,00 м (рис. 15).

Из центральной скважины диафрагмовым насосом производилась откачка воды до заданного горизонта, с поддержанием затем этого горизонта непрерывной откачкой в течение разных сроков, от 8 часов до 2½ суток. По лучевым скважинам в это время отмечалось снижение уровня грунтовой воды. В каждую скважину забивалась свайка, от головки которой измерялся уровень грунтовой воды; головки всех свайки занивелировывались. По длине лучей скважин устраивались деревянные мостки для хождения.

Для учета снижения уровня грунтовой воды во время откачки под влиянием испарения в расстоянии 30 м от установки устраивались контрольные скважины; величина снижения уровня воды в этих скважинах вводилась как поправка в показания действия откачки по лучевым скважинам.

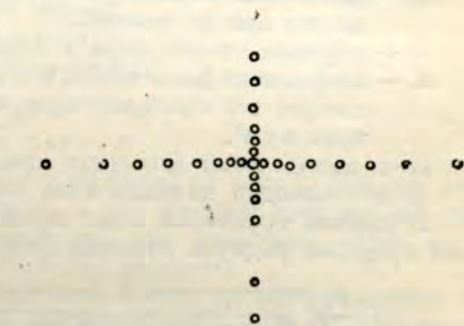


Рис. 15. Схема расположения скважин при полевом определении коэффициента фильтрации.

После устройства всех скважин процесс полевых работ заключался в следующем:

1. Производился замер исходных горизонтов воды от головок скважины в центральном колодце и во всех лучевых скважинах.

2. После замера производилась откачка воды из центрального колодца до условного горизонта (0,45, 0,90 и 1,45 м) ниже поверхности болота, с фиксацией времени.

3. Условный горизонт воды в колодце поддерживался продолжавшейся откачкой в течение 8—60 часов, в зависимости от длительности всего опыта, с допускавшейся амплитудой колебаний горизонта 3—5 см.

4. Замер объема всей откачиваемой воды по числу отливавшихся ведер или по протарированной бочке — при откачке насосом.

5. Замер через определенные промежутки времени горизонтов воды во всех лучевых скважинах и в контрольной на испарение скважине, что давало возможность устанавливать радиус влияния откачки и кривую депрессии.

6. После достаточного времени производства вышеуказанных операций, при установившемся уровне воды в лучевых скважинах, переходили к второй фазе опыта, а именно: снижали горизонт воды

в центральном колодце и вели те же операции при втором варианте более глубокого стояния уровня воды в колодце.

Получаемый материал был достаточен для вычисления коэффициента фильтрации по Дюпюи:

$$K = \frac{Q \ln \frac{R}{r}}{\pi (H^2 - h^2)},$$

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 от поверхности уровня грунтовой воды в колодце до его дна до откачки;

h — глубина столба воды в колодце после откачки;

K — коэффициент фильтрации в м/сек.; чтобы получить K в см/сек., следует все линейные измерения производить в см, а объемы воды в см³.

При выводе этой формулы принимаются два условия:

- 1) дно колодца находится на водонепроницаемой породе;
- 2) приток грунтовой воды происходит с дальнего расстояния, вне пределов радиуса влияния колодца, а не из грунта вокруг

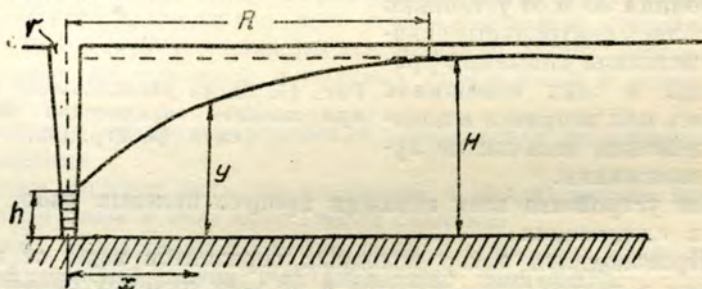


Рис. 16. Кривая депрессии грунтовой воды при откачке.

колодца. Это видно из следующего (рис. 16), обычно приводимого вывода.

Скорость фильтрации воды через грунт по уравнению Дарси:

$$v = K \cdot \frac{h}{l} = K \cdot I. \quad (1)$$

Профиль движущейся грунтовой воды в реке к каналу или скважине имеет в каждой точке различный уклон, увеличивающийся при приближении к каналу, 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 $\frac{dy}{dx}$, 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.

Поэтому скорость движения грунтовой воды выражается:

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

Расход воды q через цилиндрическое сечение водоносного потока, радиусом x и высотой y , равен:

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

где $2 \pi x$ — длина окружности в метрах,

y — высота цилиндра в метрах.

Отсюда, после разделения переменных:

$$y dy = \frac{q dx}{2 \pi x K} - \frac{1}{K}. \quad (3)$$

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:

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

Необходимо заметить, что принятие $y = h$ (рис. 16) не соответствует действительности, так как уровень грунтовой воды в залежи не сопрягается с уровнем воды в скважине; поступление грунтовой воды в скважину происходит в зоне, лежащей выше столба воды h ; при $x = r$ величина y не равна h , а больше ее.

Однако, не имея возможности выразить величину y соответственно действительности при $x = r$, при выводе уравнения принимают заведомо неправильно $y = h$; интегрирование в указанных пределах дает:

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

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

$$K = \frac{Q \cdot \ln \frac{R}{r}}{\pi (H^2 - h^2)}. \quad (4)$$

Чем продолжительнее откачка, тем ближе к действительности становится $y = h$ и тем более, следовательно, формула соответствует действительности.

Положенное в основу решения интегрального уравнения (3) второе допущение, именно, что Q постоянно, — достигается также после длительной откачки.

Выкачиваемая из колодца вода пополняется первоначально за счет запаса ее в торфе, в сфере влияния колодца на понижение уровня грунтовой воды, а не за счет притока издалека, поэтому количество воды, проходящее через вертикальное цилиндрическое сечение водоносного потока, в первое время откачки уменьшается с удалением от колодца.

Следовательно, возможная длительность откачки воды из скважины является дважды необходимой для получения верной величины коэффициента фильтрации.

Основная работа Гидрологического института по определению коэффициента фильтрации торфяной залежи была проведена, как указывалось, на болоте Гладкое. Центральная скважина системы I на болоте была доведена до водонепроницаемого грунта — серой глины, и следовательно, вполне отвечала условиям вывода формулы Дюпюи. Глубина скважины 3 м. Анализ торфяной залежи в этом месте дал следующие показатели ее состава, разложениости и зольности (табл. 74).

Таблица 74

Расстояние от поверхности (в см)	Ботаническая характеристика торфа при системе I скважин	Зольность (в %)
10	Живой сфагнум; преобладает медиум; имеются акутифолия и фускум. Волокна и листья пушицы	1,65
40	Рыхлый очес. Сфагнумы: медиум, фускум, акутифолия; волокна пушицы и корешки осоки; остатки ягодников. Разложениость 5%	1,85
100	Сфагновый торф, в сухом виде плотный. Сфагнум, медиум с примесью акутифолии; остатки пушицы, осоки, кустарников. Разложениость 25—30%	2,10
150	Сфагновый торф, в сухом виде плотный. Сфагнум медиум, реже — акутифолия; корешки пушицы, частицы гумуса. Разложениость 40%	4,48
215	Сфагновый торф, плотный. Сфагнум, медиум, реже — акутифолия; примесь пушицы и осоки. Разложениость 35%	2,76
260	Сфагновый торф, плотный. Сфагнум, медиум, реже — акутифолия; корешки пушицы. Разложениость 30—35%	3,42
300	Минеральное дно — суглинок; волокна пушицы и гумусовые частицы	89,1

Следовательно, торф на системе I целиком сфагновый (медиум). Разложениость торфа и зольность малые.

Коэффициенты фильтрации на болоте Гладкое

Дата опыта	Продолжительность откачки (в час.)	Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности перед откачкой (в см)	Глубина воды в скважине перед откачкой, H (в см)	Глубина воды в скважине, поддерживаемая откачкой, h (в см)	Радиус центрального колодца, r (в см)	Радиус действия откачки, R (в см)	Средний расход воды, Q (в л/сек.)	Коэффициент фильтрации, K (в см/сек.)	$H-h$
Система I									
12/VII 1935 г.	10	40	290	266	16	500	0,070	0,0058	24
24/VII »	7	40	290	260		700	0,078	0,0057	30
12—13/VIII »	27	40	290	212		700	0,129	0,0040	78
13—14/VIII »	25	40	290	157		700	0,110	0,0022	133
Система II									
4/VIII 1935 г.	8	42	265	182	20	600	0,062	0,0018	83
17/VIII »	6	45	262	212		1000	0,042	0,0022	50
19—20/VIII »	28	45	262	142		1000	0,040	0,0010	120
20—21/VIII »	24	45	262	92		1000	0,036	0,00075	170
12/VI 1936 г.	5	20	265	188	20	500	0,046	0,0014	77
15/VI »	5	16	269	175		750	0,039	0,0011	94
19—20/VI »	29	8	277	205		900	0,058	0,0020	72
20—21/VI »	26								
Система III									
26/VI 1936 г.	7	48	282	220	18,8	750	0,075	0,0028	62
3—5/VII »	33	25	275	170		750	0,044	0,0011	105
5—6/VII »	30	25	275	140		750	0,049	0,0010	135

Центральная скважина системы II имела глубину 3 м, а вся толща торфа равна 5 м. Торф по составу близок к торфу системы I: сфагновый — медиум и акутифолия, сверху на 55 см — сфагново-пушицевый очес; нижние слои в пределах глубины скважины имеют разложённость 60—70%, т. е. значительно большую, чем в системе I; зольность его 1,6—2,2%.

Скважины системы III заложены в торфе близких свойств.

Откачка воды из указанных центральных скважин на Гладком болоте дала, величины коэффициента фильтрации, вычисленные по формуле Дюпюи которые приведены в табл. 75.

Рассматривая данные этой таблицы, замечаем, что при больших колонках (h) воды в скважинах при откачке значения коэффициента фильтрации получаются большими: при колонках (глубинах) 266 — 212 см он оказался в пределах 0,0058—0,0022 см/сек.; при колонках (глубинах) воды 175—140 см — в пределах 0,0022—0,0010 см/сек., при колонке 92 см — 0,00075 см/сек.

Следовательно, торф большей разложённости имеет меньший коэффициент фильтрации. Чем меньше колонка воды в скважине, при одинаковой общей глубине скважин, тем через более глубокие и более разложившиеся слои торфа происходит фильтрация воды в скважину.

При откачках воды из скважин на Гладком болоте подтверждено еще одно обстоятельство. Если проследить изменение коэффициента фильтрации во времени при длительной откачке из какой-либо системы, то оказывается, что коэффициент фильтрации, при установленном уровне воды в колодце, первые часов 9 обычно снижается, а затем становится постоянным (табл. 76).

Таблица 76

Коэффициенты фильтрации на болоте Гладкое (в см/сек.)

Продолжительность откачки (в часах)	1935 г.		1936 г.	
	Система I; начато 12/VIII	Система II; начато 19/VIII	Система II; начато 19/VII	Система III; начато 1/VII
3	0,0062	0,0013	0,0020	0,0016
6	0,0045	0,0011	0,0019	0,0012
9	0,0040	0,0011	—	0,0010
12	0,0037	0,0010	0,0020	—
15	0,0036	0,0010	0,0020	0,0010
18	0,0035	0,0010	—	0,0009
21	0,0035	0,0009	0,0020	—
24	0,0034	0,0010	0,0020	—
27	0,0033	0,0010	0,0020	—
30	—	0,0009	—	—

Повышенная фильтрация в первые несколько часов откачки объясняется первоначальным стеканием воды из поверхностных слоев залежи, т. е. из неразложившихся отложений сфагнума. Из табл. 76

видно, что при продолжительности откачки свыше 7 час. коэффициент фильтрации на Гладком болоте по трем системам в течение двух лет получается в узких пределах: 0,001—0,004 см/сек.

Менее совершенно были проведены в 1933 и 1935 гг. Гидрологическим институтом наблюдения коэффициента фильтрации в залежах торфа Цыганского болота, в районе Токсово (к С от Ленинграда), и в 18-м квартале Онцевского участка Сиверского леспромхоза (в 70 км к Ю от Ленинграда). Несовершенство исследований заключалось в том, что скважины были мелки и откачка воды производилась с интервалами в 15 минут, так что горизонт воды в центральном колоде несколько колебался; при колебаниях горизонта величина K в формуле Дюпюи принималась средней из величин за время перерыва в откачках; при таком способе работы коэффициент фильтрации получался достаточно точным.

Наблюдения на лесном болоте 18-го квартала Онцевского участка Сиверского леспромхоза проведены в 1934 г. на четырех системах скважин. Глубина торфа вместе с очесом составляла 40—60 см, а скважины были доведены до глинистого дна болота. С поверхности болото покрыто сфагновым очесом из сфагнума: фускум, медиум и парвифолиум; главные мхи — дикраниум и плеуроэриум. Попадаются пушица, подбел, клюква, из деревьев — сосны, высотой 4—5 м.

На глубине 30 см главными торфообразователями были осока и пушица, второстепенными — сфагнум, тростник и др.; торф осоково-топяной, разложённостью 50—70%.

Результаты работ по Онцевскому болоту представлены в табл. 77.

Таблица 77

Коэффициенты фильтрации на Онцевском болоте (в см/сек.)

Система скважин	Дата опыта	Исходное расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)	Продолжительность наблюдений			
			2 часа	6 час.	12 час.	60—63 часа
I	18/VI	21	0,0015	0,0010	—	—
	23/VI	21	0,0012	0,00106	—	—
	13/VII	13	0,0019	0,0015	—	—
II	3/VII	34	0,0011	0,00075	0,00053	—
	14/VII	16	0,0009	0,0009	—	—
	17/VII	11	0,0015	0,0016	—	—
	8—9/VIII	16	0,0018	0,00094	0,00076	0,00055
III	13/VIII	18	0,0028	—	—	—
IV	17/VII	13	0,0030	0,0024	—	—
	18/VII	13	0,0034	0,0032	—	—
	8—10/VIII	15	0,0045	0,0033	0,0030	0,0021

Снижение коэффициента фильтрации по мере продолжительности отливки воды из центрального колодца и здесь должно быть объяснено тем, что первоначально вода стекает из поверхностных, слабо разложившихся слоев сфагноума, а затем идет по более разложившимся слоям. Коэффициенты фильтрации на Онцевском болоте оказались сходными с коэффициентами на Гладком болоте.

Наблюдения на Токсовском болоте были проведены в 1933 г. по четырем системам скважин, с продолжительностью откачки до 20 час. Болото сфагновое, с мягкими кочками-подушками. Сфагнум — кушнатум, медиум, фускум и др.; разложённость с поверхности 10—15%, на глубине 0,75 м—25%; глубина торфа 3 м, зольность 2—3%. Результаты работы по Токсовскому болоту за 1933 г. оказались следующими (табл. 78).

Таблица 78

Коэффициенты фильтрации на Токсовском болоте (в см/сек.)

Система скважин	Дата опыта	Продолжительность откачки				
		2 часа	4 часа	8 час.	12 час.	16 час.
I	13/VI	0,00083	—	0,00078	—	—
II	10/VII	—	0,00022	0,00021	—	—
II	1/VIII	—	0,00023	—	0,00020	0,00020
III	30/VII	0,00091	0,00085	0,00083	—	—
III	1/VIII	—	0,00066	—	0,00064	0,00062

Несмотря на казавшуюся однородность поверхности болота и состава его очеса и торфа по всей глубине скважин, коэффициенты фильтрации в разных пунктах болота получились различными. Объясняется это, может быть, тем, что некоторые системы попали на более проницаемые прослойки или корневые пустоты.

Кроме того, торф Токсовского болота оказался значительно менее проницаемым по сравнению с торфом болот Гладкого и Онцевского.

Повторенные на Токсовском болоте откачки в 1934 г. показали примерно те же результаты:

после 9 час. откачки $K=0,00040$ см/сек.

» 84 » » $K=0,00018$ »

Определение коэффициента фильтрации методом наблюдения воды в скважине после предварительной откачки (метод восстановления горизонта).

Примененный Гидрологическим институтом способ определения коэффициента фильтрации посредством длительной откачки воды из центральной скважины, с поддержанием уровня воды на постоянном горизонте, с учетом объема выкачанной воды и с замером понижений уровня воды в радиальных скважинах, является основным способом, так как при нем непосредственно измеряются все величины, входящие в формулу Дюпюи.

Однако, необходимость устройства радиальных скважин, откачка воды в течение двух суток и масса измерений побуждают к отысканию более простых полевых способов определения коэффициента фильтрации. Таковые имеются, и из числа их Гидрологическим институтом для торфяного болота был проведен метод, изложенный Донатом для минеральных грунтов.

На месте определения коэффициента фильтрации устраивается одна скважина с дном, по возможности, на водоупорном грунте.

После устройства скважины выжидают время, когда уровень воды в ней установится на постоянной для данного времени высоте; в глинистом грунте это может продолжаться несколько суток, в торфе же происходит очень быстро. Измеряют установившуюся глубину H воды в скважине и расстояние уровня воды от поверхности. После этого производят откачку воды из скважины и к моменту окончания откачки измеряют новое расстояние воды от поверхности и глубину ее h_0 в скважине и замечают время этого замера. По прекращении откачки уровень воды в скважине, под влиянием притока грунтовой воды, поднимается, стремясь дойти до первоначального горизонта с глубиной H .

При поднятии горизонта отмечают время достижения различных глубин и, наконец, при достигнутой глубине h_1 , близкой к первоначальной H , прекращают опыт. Этого достаточно для приближенного вычисления коэффициента фильтрации; вывод формулы оригинален и не очень сложен.

Приток воды в скважину при глубине воды h_0 , согласно формуле Дюпюи, равен:

$$Q = \frac{\pi K (H^2 - h_0^2)}{\ln R - \ln r}.$$

Необходимо отметить, что в этом случае, а именно: при весьма кратковременной откачке воды принятие $y = h$, при интегрировании дифференциального уравнения притока воды, совершенно не отвечает действительности; приток грунтовой воды в скважину идет, при кратковременной откачке, слоем y , равным почти величине H .

Обозначая $\frac{\pi}{\ln R - \ln r}$ через a , получаем:

$$Q = aK (H^2 - h_0^2).$$

Глубина h_0 увеличивается с каждым мгновением, а приток Q — уменьшается; поэтому приток следует выразить через отрезок времени dt , а глубину — через переменное h :

$$dQ = aK (H^2 - h^2) dt. \quad (1)$$

За этот же отрезок времени уровень воды в скважине поднялся на dh ; увеличение объема воды в скважине выразится поэтому через:

$$Fdh, \quad (2)$$

где F — площадь сечения скважины.

Приравняв выражение поступления воды в скважину выражению увеличения объема, получим:

$$aK (H^2 - h^2) dt = Fdh.$$

Для решения полученного дифференциального уравнения разделим в нем переменные:

$$dt = \frac{F}{aK} \cdot \frac{dH}{H^2 - h^2}.$$

После интегрирования получим:

$$t = \frac{F}{aK} \cdot \frac{1}{2H} \ln \frac{H+h}{H-h}.$$

За время наблюдения глубина h изменяется от нижнего предела h_0 до конечного верхнего h_1 (к моменту окончания наблюдения).

Вставляя эти пределы, получаем:

$$\frac{t \cdot aK2H}{F} = \ln \frac{H+h_1}{H-h_1} - \ln \frac{H+h_0}{H-h_0}, \quad (3)$$

откуда:

$$K = \frac{F}{2at \cdot H} \cdot \ln \left(\frac{H+h_1}{H-h_1} \cdot \frac{H-h_0}{H+h_0} \right). \quad (4)$$

В этом выражении $a = \pi : \ln \frac{R}{r}$, r — измеренный радиус скважины;

R — радиус влияния откачки неизвестен, так как за короткое время опыта он еще не устанавливается и, кроме того, при данной методике он не измеряется, в виду отсутствия радиальных промерных скважин.

Значение a Порхетом (Porchet)¹ было предложено принимать постоянным и равным 0,33.

Следовательно, органическим недостатком изложенного, удобного по быстроте и простоте, полевого метода определения коэффициента фильтрации является необходимость принятия выражения d_1 , зависящего от R_1 , за постоянную во всех условиях наблюдений величину.

Заменяя F через πr^2 , а d — через 0,33, натуральный логарифм через десятичный и введя некоторое упрощение, Донат приводит получаемую при интегрировании формулу (4) к простому виду:

$$K = 16,3 \cdot \frac{r^2}{Ht} \lg \frac{y_0}{y}, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} y_0 &= H - h_0, \\ y &= H - h_1. \end{aligned}$$

По уравнению (5) и рекомендуется делать вычисления.

По тем же системам, на которых Гидрологическим институтом определялись в 1936 г. коэффициенты фильтрации способом Дюпюи на Гладком болоте, были проведены и наблюдения над поднятием воды в центральных скважинах для вычисления K по формуле (5).

По системе II летом 1936 г. методом восстановления горизонта воды в скважине после откачки были проведены две серии наблюдений, результаты которых представлены в табл. 79.

¹ Hydrodynamie des puits. Paris, 1931.

Коэффициенты фильтрации на болоте Гладкое по Донату
(Система II)

Серия наблюдений	Время от начала поднятия воды (в мин.)	Глубина воды в скважине до откачки (в см)	Понижение воды после откачки (в см)	Величина недо-восста-новле-ния (в см)	K (в см/сек.)	Примечание
Первая	22	265	77	49	0,0056	Радиус скважины 20 см
	37	265	77	33	0,0055	
	88	265	77	5	0,0059	
Вторая	47	277	132	82	0,0048	
	57	277	132	26,5	0,0048	
	117	277	132	6	0,0045	

По этой же системе в 1936 г. методом откачки с поддержанием горизонта воды на постоянной высоте коэффициент фильтрации по формуле Дюпюи, в среднем из четырех серий опытов, получился равным $K = 0,0014$ см/сек.

По системе III в 1936 г. методом восстановления по Донату по двум сериям были получены следующие коэффициенты фильтрации (табл. 80).

Таблица 80

Коэффициенты фильтрации на болоте Гладкое по Донату
(Система III)

Серия наблюдений	Время от начала поднятия воды (в мин.)	Глубина воды в скважине до откачки (в см)	Понижение воды после откачки (в см)	Величина недо-восста-новле-ния (в см)	K (в см/сек.)	Примечание
Первая	40	282	62	46	0,0044	Радиус скважины 18,8 см
	50	282	62	16,1	0,0039	
	110	282	62	6,9	0,0030	
	130	282	62	5,7	0,0027	
Вторая	12	277	137	105	0,0034	
	32	277	137	68	0,0033	

По той же системе в 1936 г. коэффициент фильтрации по формуле Дюпюи, в среднем из трех серий наблюдений, получился равным $K = 0,0016$ см/сек.

Табл. 79 и 80 приведены здесь в сокращенном виде; в действительности же число фиксированных во времени горизонтов поднятия воды в скважинах было значительно большим.

Сравнение величин коэффициентов фильтрации, полученных по Дюпюи (табл. 75—78) и по Донату (табл. 79 и 80), показывает, что

по Донату коэффициенты фильтрации получились в 2—3 раза большими, чем по Дюпюи. Основным методом необходимо считать метод поддержания уровня воды в скважине на постоянном горизонте, с фиксацией радиуса действия откачки; при этом методе формула Дюпюи выводится без подстановок каких-либо условно постоянных величин. Метод Доната весьма прост по выполнению, но вывод формулы, как ранее показано, сделан при допущении постоянства величин R и r и при заведомо неправильном принятии $y = h_0$ при интерполировании уравнения притока воды в скважину.

Формула Института болотного хозяйства. Наилучший учет действительных условий поступления воды в узкую скважину, при восстановлении горизонта воды в ней, дает

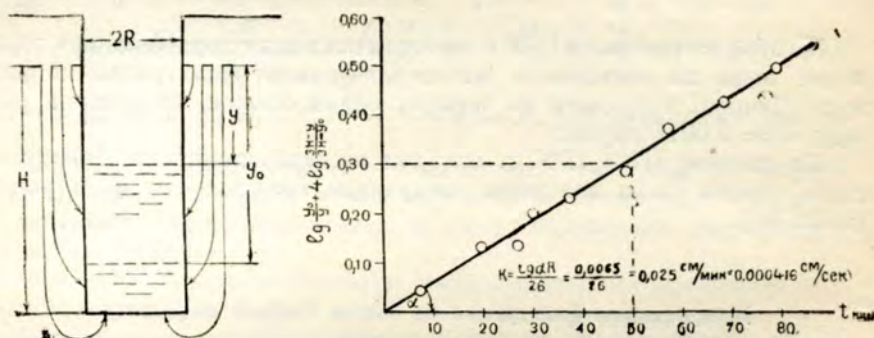


Рис. 17. Уровень воды при определении коэффициента фильтрации по формуле Института болотного хозяйства.

формула Института болотного хозяйства [118]. После пробуривания скважины вода поступает через всю боковую поверхность скважины в зоне грунтовой воды и через ее дно (рис. 17). Гидравлический градиент водных токов, поступающих в разные части скважины, будет разный.

Для отрезка скважины (y) от горизонта воды в грунте до уровня воды в скважине градиент приблизительно равен единице, а поверхность поступления воды:

$$2 \pi r \cdot y.$$

Для отрезка от уровня воды в скважине до ее дна градиент равен в среднем:

$$I = - \frac{y}{y + \frac{H-y}{2}},$$

а поверхность поступления воды: $2 \pi r (H-y)$.

Для поступления воды через дно градиент выражается: $I = \frac{y}{h}$,

а поверхность поступления воды πr^2 .

Поднятие (dy) воды в скважине в отрезок времени dt выразится поэтому суммой трех слагаемых:

$$dy = \frac{K \cdot 2 \pi r y}{\pi r^2} dt + \frac{K \cdot 2 \pi r (H - y) y}{\left(y + \frac{H - y}{2}\right) \pi r^2} dt + \frac{K \pi r^2 y}{H \pi r^2} \cdot dt. \quad (1)$$

Преобразование дает:

$$\frac{H + y}{y [H (6H + r) - y (2H - r)]} dy = \frac{K}{rH} dt. \quad (2)$$

Интегрируя в пределах от y_0 до y , получаем:

$$\ln \frac{y_0}{y} - \frac{8H}{2H - r} \cdot \ln \frac{y_0 (2H - r) - H (6H + r)}{y (2H - r) - H (6H + r)} = \frac{K (6H + r)}{rH} \cdot t. \quad (3)$$

Отсюда, по определяемым в натуре y , y_0 , H , r и t , вычисляется коэффициент фильтрации K .

Считая, что радиус скважины r в сравнении с глубиной (H) мал, Эркин [118] откидывает величину r , где она входит с плюсом или минусом, и вместо полного выражения для K дает упрощенное выражение:

$$K = \frac{r}{2,6t} \cdot \left(\lg \frac{y_0}{y} + \lg \frac{3H - y}{3H - y_0} \right). \quad (4)$$

Натуральный логарифм заменен здесь десятичным.

По формуле Института болотного хозяйства автором было произведено определение коэффициентов фильтрации торфяных и минеральных грунтов, результаты которого частью приведены в табл. 81.

Таблица 81

Коэффициенты фильтрации по формуле Института болотного хозяйства

Пункт наблюдений	Местонахождение	Тип болота	Число определений	Коэффициент фильтрации (в см/сек.)			Глубина торфа (в м)
				средний	большой	меньший	
Минская болотная станция	Возле г. Минска	Низинное, напорное	4	0,0011	—	—	2—3
Совхоз им. 10-летия БССР	Любанский район (БССР)	Низинное, безнапорное	38	0,00048	0,0013	0,00012	2—3
Торфозавод им. Гая	Смолевичи (БССР)	Низинное, напорное	49	0,00068	0,001	0,00035	2—3
Перховский опорный пункт	Западная область	Низинное	4	0,00078	0,00099	0,00065	—
Колхоз им. 12-летия Октября	То же	Низинное, напорное	3	0,0048	0,0057	0,0034	—
Совхоз Залог Пятилетки	БССР	Переходное	12	0,001	0,0026	0,00056	—

Таблица показывает, что коэффициент фильтрации низинных залежей торфа колеблется в широких пределах.

Определение коэффициента фильтрации методом наблюдения вертикальной фильтрации через залежь торфа

Этим методом были произведены определения коэффициента фильтрации в 1936 г. Дорожным научно-исследовательским институтом в 10 км севернее г. Петрозаводска.

В стенке глубокого шурфа, на глубине 0,7 м, делалась ниша, в которую вставлялась воронка, диаметром 36,6 см, площадью 1046 см², и сосуд для собирания воды из воронки; над воронкой, таким образом, была толща торфа в 0,5—0,7 м. С поверхности торфяника над самой воронкой делалась квадратная (40 × 40 см) выемка, глубиною 10—15 см, в которую наливался и поддерживался 10-сантиметровый слой воды.

Создавалась простейшая схема вертикальной фильтрации воды через торф в залежи; коэффициент фильтрации вычислялся по Дарси:

$$K = \frac{Q}{FI}; \quad I = \frac{H}{L}.$$

Результаты определения коэффициента вертикальной фильтрации приводятся в табл. 82.

Таблица 82

Род торфа	Разло- жен- ность (в %)	Филь- три- рующий слой над ворон- кой (в см)	Продолжи- тельность опыта	Расход, (в см ³ /сек.)	Коэффициент фильтрации (в см/сек.)
Ольховый	30—35	37	50 мин.	1,85	0,0014
Осоково-пушицевый . .	30	50	1 час 50 мин.	1,18	0,00086
Березово-осоковый . .	36	55	1 час 55 мин.	1,04	0,00082

Полученные величины коэффициента вертикальной фильтрации могут считаться наиболее близкими к истинным, так как данная методика определения не имеет недостатков, присущих всем другим методам; здесь нет нарушения структуры залежи торфа и нет заведомо неправильно применяемых математических действий. Однако осуществление этого метода в практике затруднительно.

Определение коэффициента фильтрации по стоку воды по дренам или канавам (метод стока)

Имея три параллельные осушительные канавы с дном, доведенным до водонепроницаемого грунта, и наблюдая расход воды по средней канаве и положение уровня грунтовой воды по обе стороны от этой канавы, можно вычислить величину коэффициента фильтрации торфяной залежи (рис. 18).

Сначала найдем уравнение линии грунтовой воды в этих условиях. Обозначим приток грунтовой воды в канаву на протяжении 1 м в 1 сек. через Q м³, представляющий сумму стока с 1 м² поверхности. Обозначим сток грунтовой воды с 1 м² поверхности водосбора канавы через p м³/сек. Процесс стока грунтовой воды в канаву рассматриваем далее в предположении, что длина канавы равна 1 м.

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

$$p(l-1) \text{ м}^3/\text{сек.},$$

а в расстоянии x метров:

$$q = p(l-x); \quad (1)$$

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, расход воды составит:

$$q = y \cdot 1 \cdot K \frac{yd}{dx}. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) выражают один и тот же расход воды через сечение в расстоянии x метров от канавы, поэтому:

$$p(l-x) = y \cdot K \frac{dy}{dx}, \quad (3)$$

а после разделения переменных:

$$p(l-x) dx = Ky dy.$$

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

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

откуда:

$$K = \frac{pl^2}{H^2 - h^2}. \quad (4)$$

Если наблюдать расход воды по каналу, то, зная расстояние между канавами $2l$, длину канавы L , можно вычислить сток p в м³/сек. с 1 м², а наблюдая еще H и h , можно вычислить по формуле (4) коэффициент фильтрации.

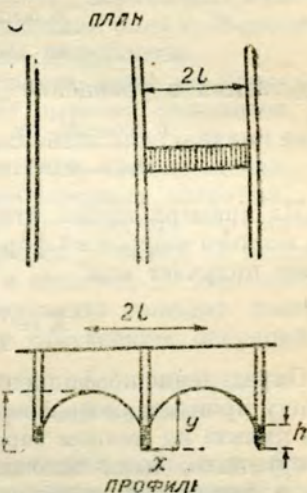


Рис. 18. Определение коэффициента фильтрации по стоку воды из канавы.

Например, L — длина опытной канавы 100 м; $2l$ — расстояние между канавами 40 м; Q — наблюдаемый сток по опытной канаве, равный 0,0002 м³/сек.; h — вертикальное расстояние выхода грунтовой воды в канаву от дна последней, равное 0,1 м; H — толщина грунтовой воды на расстоянии l от канавы, равная 0,8 м.

Тогда p (сток с 1 м²) получится равным:

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

Подставляя в уравнение (4), получаем величину K :

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

Из примера видно, что h^2 весьма мало по сравнению с H^2 и без всякого ущерба из формулы может быть исключено. Тогда уравнение получает вид:

$$K = \frac{pl^2}{H^2} \text{ (формула Роже).}$$

Определение коэффициента фильтрации в торфяном грунте по этому методу производилось Х. А. Писарьковым. «На Новгородском опорном пункте на мелком торфянике, глубиной 50—70 см, залегающем на суглинке, были заложены 3 типа дренажа: Бутца¹, жердьевой и фашинный; глубина заложения дрен 60—70 см, расстояние между ними 10, 15, 20 и 30 м. Торф от поверхности на глубину до 20—30 см сфагново-осоковый, разложённостью 15—25%; ниже — осоково-древесный с постепенно увеличивающейся разложённостью до 60% внизу» [97].

На рассматриваемом участке в течение 3 лет проводились наблюдения над стоком и уровнем грунтовой воды, что дало возможность вычислить следующие величины коэффициента фильтрации (табл. 83).

Таблица 83

Тип дренажа	Коэффициент фильтрации (в см/сек.)
Досчатые трубы	0,0035
Жердьевой	0,0029
Фашинный	0,0039
Среднее	0,0034

Х. А. Писарьковым, кроме того, коэффициент фильтрации определялся также и по ходу восстановления уровня воды в скважинах; при вычислениях затем по формуле Доната, с принятием величины

¹ Дрены системы Бутца — прямоугольные трубы из досок.

α , равной 0,33, коэффициент фильтрации по всем площадкам получился $K = 0,0017$, т. е. в два раза меньший, чем полученный по методу наблюдения стока.

Приведенные материалы по определению коэффициента фильтрации полевыми методами на сфагновых болотах окрестностей г. Ленинграда (Гладкое, Токсовское и Онцевское болота), переходных и низинных болот близ г. Петрозаводска и на переходном близ г. Новгорода дают удовлетворительные по согласованию результаты.

Производство самих наблюдений на болоте, даже по кропотливому методу откачки, значительно проще вырезки монолитов, доставки их в лабораторию, монтировки и, наконец, пропускания через них тока воды в течение месяца, без четкого представления, что именно получается в результате этих лабораторных операций.

Если же яснее установить отклонения результатов, получаемых по методу восстановления горизонта (формула Доната), от величин коэффициента, получаемых методом стока и откачки, то пользование упрощенным методом восстановления горизонта доводит полевое определение коэффициентов фильтрации до простейших операций.

Скорость движения 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 0,001 см/сек., то скорости движения потока грунтовой воды, без учета порозности, получаются:

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

$$v = 0,00001 \cdot 86\,400 = 0,864 \text{ см/сутки},$$

а с учетом порозности в 70%:

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

Получается, таким образом, практически отсутствие движения грунтовой воды непосредственно по сфагновой толще в горизонтальном направлении, если болото не прорезано руслом реки или канавами.

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

В этом случае вертикальное движение воды в торфе может рассматриваться происходящим при градиенте (уклоне) 1. Условная скорость вертикальной фильтрации при этом уклоне (I) и при $K = 0,001$ см/сек. равна $v = K \cdot I = 0,001$ см/сек., а за сутки 86 см (без учета пористости). С учетом же пористости 0,70, вертикальный путь воды за сутки вычисляется в 123 см, а далее вода движется по песку.

Таковы вычисленные величины горизонтальных и вертикальных скоростей 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 происходит явление, аналогичное стоянию воды в трубе: самая малая продвижка воды в одном конце трубы вызывает почти одновременную продвижку в другом конце. При ничтожной скорости продвижения воды в торфяной залежи все же небольшая передвигка 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 час.
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 системах скважин на Онцевском болоте распространялся на следующие расстояния:

Системы	За 6 час.	За 12 час.	За 24 час.	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 м	2,7 м	2,8 м	3,0 м

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 с помощью растворов, повидимому, возможно.

Крюгер в Германии наблюдал в сфагновом болоте продвижение раствора поваренной соли за 6 суток на 18 м. На Кедингерском болоте в округе Штаде (Германия), 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. Полить, бассейн оз. Ильмень), площадью около 93 000 га, проведенного Научно-исследовательским торфяным институтом (Инсторф), Богдановская-Гиэнеф приходит к заключению, 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 водяными 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 напорной водою прослоек разложившегося торфа; в Полистовском массиве они находятся на глубине 2—4,5 м.

Кроме водяных жил в болотном массиве имеются внутризалежные русла, являющиеся погребенными древними речными руслами и служащие 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 встречаются погребенные русла. Старые и новые русла с помощью оконц сообщаются между собой, и вода может или уходить вниз, или подниматься по оконцам кверху, протекая по путям меньшего сопротивления.

Наконец, Богдановская-Гиэнеф [41] указывает еще на наличие в Полистовском торфянике «глухих речек, где течение воды проходит на глубине 75—100 см под зыбким моховым покровом».

Наличие внутризалежных протоков установлено также на Тесовском болоте, в 120 км к ЮЮЗ от г. Ленинграда. Согласно описанию Н. В. Попченко [99], из перерезанного канавой водяного мешка начала поступать в большом количестве совершенно чистая, а не болотная вода, и большой поток этой воды вынес несколько стеблей зеленой свежей осоки. Это явление заставило предположить наличие протоки в толще торфа от оз. Тигода, расположенного на расстоянии 1,25 км.

На содержание жильной воды в торфяниках впервые указал А. Д. Брудастов [15]. На основе наблюдений над уровнем грунтовой воды им было высказано предположение, что грунтовые воды в болотах напорного питания распределяются не в виде равномерного по всей толще торфа просачивания, а в форме отдельных жил. Для определения положения подземных потоков им предложен специальный пьезометр-трубка с возможностью разрежения в нем воздуха.

Трубка погружается в грунт — торф, после чего в ней производится разрежение воздуха. При попадании конца трубки в поток грунтовой воды, последняя быстро поднимается по трубке кверху; при отсутствии же 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; их можно проследить на десяток метров в сторону от канавы.

Распространение фильтрации в сторону от водоема

Знание коэффициента фильтрации торфяной залежи дает возможность приближенного решения ряда задач гидрологического содержания.

На какое расстояние L от водоема распространится фильтрационный поток в торфе с горизонтальной поверхностью, при напоре воды у водоема, равном H см, и при величине испарения из залежи e см/сек.?

Расход на просачивание у самого водоема на ширине полосы в 1 м равен:

$$Q = v_0 H. \quad (1)$$

На протяжении dx от водоема происходит испарение:

$$e \cdot dx,$$

поэтому расход на просачивание в сечении на расстоянии от водоема составит:

$$Q - e dx \quad (2)$$

или:

$$v_0 H - e dx.$$

Этот же расход выражается аналогично уравнению (1):

$$v_1 \cdot (H - dH). \quad (3)$$

Приравнявая уравнения (2) и (3), имеем:

$$v_0 H - e dx = v_1 (H - dH), \quad (4)$$

по Дарси:

$$v = K \frac{dH}{dx}.$$

При начале координат в точке O , dH получает знак минус и в данном случае:

$$v = -K \frac{dH}{dx}.$$

Подстановка значения v в уравнение (4) дает:

$$-K \frac{dH}{dx} \cdot H - e \cdot dx = -K \frac{dH}{dx} \cdot H + K \frac{dH}{dx} \cdot dH,$$

а после сокращения:

$$-e dx = K \frac{(dH)^2}{dx},$$

или

$$e (dx)^2 = -K (dH)^2$$

$$\sqrt{e \cdot dx} = -\sqrt{K dH}$$

$$\sqrt{e} \int_0^L dx = -\sqrt{K} \int_H^0 dH$$

$$\sqrt{e \cdot L} = \sqrt{KH}$$

$$L = H \sqrt{\frac{K}{e}}. \quad (5)$$

Уравнением (5) задача решена.

Например, $K = 0,002$ см/сек., $H = 100$ см, e (высота испарения) за июль = 10 см, что соответствует 0,000004 см/сек.

На какое расстояние распространено смачивание торфа в сторону от водоема?

$$L = H \sqrt{500} = 2300 \text{ см} = 23 \text{ м.}$$

Смачивание торфа при бездождной погоде будет распространяться на 23 м в сторону от водоема.

Выводы

Имеющиеся материалы лабораторных и полевых исследований по движению воды в торфяных монолитах и в торфяных залежах дают пока возможность притти лишь к нижеследующему заключению:

1. Водопроницаемость торфа весьма различна и зависит от происхождения торфа, его разложенности и плотности; чем разложенность торфа большая, тем проницаемость его меньше. Поэтому верхние горизонты сфагновой залежи пропускают через себя дождевую воду достаточно быстро, а нижние — труднее.

2. При наличии в торфяной залежи слоев торфа различного происхождения и разложенности, притом иногда с наличием ясно выраженных прослоек сильно разложившегося торфа, в торфяной залежи создаются в некоторых случаях условия образования как бы нескольких горизонтов движущейся «грунтовой» воды по более трудно проницаемым прослойкам торфа; эти горизонты нередко можно видеть по выклиниванию воды в откосах канав.

3. Коэффициент фильтрации сфагново-пушицевого торфа с разложенностью до 35%, не считая очеса, может приниматься для расчетов фильтрации в залежи равным 0,002 см/сек. — как средняя величина, 0,005 см/сек. — как большая величина и 0,001 см/сек. — как малая величина.

4. Коэффициент фильтрации сфагново-пушицевого торфа с разложенностью 50—75% может приниматься в залежи равным в среднем 0,0005 см/сек.

5. Коэффициенты фильтрации травяных болот изучены меньше, чем сфагновых, и подвержены большим колебаниям. Поэтому обобщенных предложений о фильтрации воды в залежах травяных торфов дать не представляется возможным; по материалам БССР и Западной области коэффициент фильтрации для травяных залежей выражается тысячными и десятитысячными долями сантиметров в секунду.

6. Наблюдающееся при испытаниях в монолитах уменьшение до практического нуля величины коэффициента фильтрации, при длительном пропуске воды через монолиты, едва ли может соответство-

вать природным условиям. Пропеходящее набухание гумусовых растительных остатков вызывает увеличение объема торфяной залежи, не останавливая фильтрации; монолит же, заключенный в прочный футляр, не может увеличиться в объеме и потому здесь набухание гумуса вызывает закупорку всех пор и прекращение фильтрации, что является искусственно создаваемым обстоятельством.

7. Еще в большей мере явление набухания выражается при пропускании воды через глины; глинистые монолиты, заключенные в футляры, рвут стенки последних и показывают фильтрацию, практически равную нулю; тот же глинистый грунт в залежи, в натуре, при определении фильтрации методом восстановления горизонта (по Донату) показывает заметную фильтрацию.

8. В сфагновых торфах, при отсутствии резкой слоистости, коэффициенты фильтрации в вертикальном и горизонтальном направлениях заметно не отличаются. При обычном ничтожно малом уклоне поверхности грунтовой воды на болотах, фильтрация воды внутри залежи в горизонтальном направлении, при отсутствии канав и дрена, «должна» практически равняться нулю. Наличие под торфяной залежью водопроницающего песчаного горизонта создает движение воды в торфяной залежи сверху вниз при градиенте, могущем достигнуть единицы.

9. Скорость движения воды в самых верхних слоях слабо разложившегося торфа и в нижних слоях очеса может приниматься, для ориентировочных расчетов, равной 2—3 м в сутки.

10. Указанные величины коэффициента фильтрации торфа дают возможность принять, что залежи сфагнового торфа малой разложившенности пропускают воду как песчано-глинистый грунт, средней разложившенности — как глина с примесью песка, большей разложившенности — как суглинок.

Залежи травяного торфа обладают, повидимому, меньшей проницаемостью. Наличие древесных остатков увеличивает проницаемость.

11. Наличие в торфяных болотах водоносных жил и даже внутри-залежных протоков может существенно менять условия передвижения грунтовой воды к рекам и канавам в отношении ускорения стока. Кроме того, вода торфяного болота кратчайшим вертикальным направлением поступает, повидимому, в подстилающий песчаный горизонт и движется по нему к рекам и канавам со значительно меньшим сопротивлением.

ГЛАВА IX

СТОК С БОЛОТ

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

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

В 1873 г. были начаты работы Западной экспедиции по осушению болот Белорусского Полесья, продолжавшиеся до 1896 г. включительно, причем водомерными наблюдениями за тот же приблизительно период (1876—1892 гг.) было обнаружено, что уровень воды в р. 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 отмечается образованием особой Экспедиции для исследования истоков главнейших рек Европейской России, которая выпустила большое число трудов, содержащих результаты исследований истоков рр. Волги, Днепра, Оки, Дона, Западной Двины и Сызрани. Гидрогеологическая часть Экспедиции особенно тщательно изучала 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 этих работах. Руководитель гидрогеологической части Экспедиции С. Н. Никитин в ряде изданий 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 р. Волги: «Значение болот, моховых, лесных, травяных, равно как болот смешанных типов, как важнейших питателей всей речной системы верховьев Волги в наиболее важное межение время, было, как мы надеемся, достаточно разрабо-

тано 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 губительно для водоносности всей системы, по крайней мере без надлежащей соответственной задержки весенних, а может быть, и осенних вод дорогостоящими гидротехническими сооружениями, которые едва ли были бы в состоянии окупить стоимость осушенных болот» [81].

Относительно верховьев р. Днепра суждения 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 наводки, обезвоживая страну и доводя воды Днепра до ничтожного минимума».

Исключение С. Н. Никитин делает лишь 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. Дренирование 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 р. Днепра и значительно преобладают в бассейнах всех северных притоков р. Волги, 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 Н. И. Максимович в своем капитальном труде «Днепр»: «Как ни важны осушительные работы в целях улучшения культуры земель, увеличения доходности угодий, оздоровления местности от болотных испарений, но в отношении равномерного 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» [72]. В заключительной части соответствующей главы 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 народонасе-

ления, Максимович считает необходимым компенсировать устройством для летнего питания рек запасных водохранилищ.

Против суждений о благотворном влиянии болот в естественном их состоянии на питание реки возражал Е. В. Опшников, который писал в 1914 г. [85]: «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. Раманна, 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».

В значительном числе статей и в отдельных монографиях Е. В. Опшников развивает свои суждения по следующим пунктам:

1. Снижение расходов воды в р. Днепре у Киева за период 1876—1892 гг. является результатом выпадения за этот период на водосборной площади р. Днепра в среднем в год 430 мм осадков, вместо многолетних средних 553 мм; при меньшем против среднего выпадении осадков снизился временно и расход воды по р. 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 наблюдавшиеся 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, большой испаряющей способностью и очень малой 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 рек.

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 все 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 тот период (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 осушении болот потеряло остроту, и осушительные работы по настоящее время производятся без учета того, вредно или полезно осушение болот для равномерного питания рек.

По мнению Е. В. Опшкова: «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 Шрейбер [143] в 1927 г. написал: «Уже в брошюре «Развитие культуры болот и торфодобыывания 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. Гумбольдтом, повторено в 1855 г. Гохштеттером и имеет след поныне во всех книгах».

Другой немецкий болотовед Такке (Таске) [146] также полагает, что болота не содействуют питанию рек.

В течение многих лет, 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; наблюдения велись меллиоративными и гидрологическими организациями без соблюдения единых программ; материал остается на местах, объединение его не осуществляется.

Изучение процесса стока должно проводиться в трех циклах:

1) с элементарных однородных площадок, величиною 1 га или менее;

2) с водосборных площадей, соответствующих по величине осушаемому в производственной практике болотам;

3) с значительных водосборов, в которые болота входят как составная часть комплекса, наряду 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 меллиорированном состоянии.

Обработка материалов по стоку должна бы производиться по методам речной гидрологии, с внедрением понятия о проценте обеспеченности, но число лет наблюдений на болотах настолько мало, что исчисление расходов различной обеспеченности является здесь фикцией.

Единственной известной нам опытной постановкой стока с торфяных элементарных площадок являются наблюдения, произведенные в 1933 г. на торфяной опытной станции Инсторфа близ ж.-д. ст. Редькино, между Москвой и Калинином, на болоте Галицкий Мох.

На верховом болоте со сфагнумом-медиум и низкорослой сосной были выделены рядом две квадратные площадки, величиной по 1 га каждая, с глубиной торфа от 2,3 до 3 м. Каждая площадка окопана с четырех сторон канавами, глубиной 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 глубиной 1 м; такая же канава прорыта и между площадками. Средний уклон 1-й площадки 0,002 и обращен на З; средний уклон 2-й площадки 0,001 и идет на СВ; горизонталы вследствие происшедшей осадки торфа проходят причудливо, и приведенные уклоны вычислены с достаточной условностью.

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

По произведенным выборкам из записей сток характеризуется величинами, приведенными в табл. 84.

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

Рассмотрение табл. 84 представляет 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 количестве 132,3 мм за 5 декад, не дали никакого стока, т.е. целиком испарились и поглотились, и лишь 40,3 мм осадков за вторую декаду августа вызвали незначительный сток. Это значит, что фактическое испарение с поверхности сфагнового торфяника за июнь, июль и начало августа равнялось 2,6 мм в сутки.

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

4. Весенние максимальные модули составили 0,48 и 0,76 л/сек. с 1 га, что представляет сравнительно с минеральными грунтами незначительные величины.

5. За период с 11/VIII по 31/X выпало 275,3 мм атмосферных осадков, что в сумме дает на 1 га 2753 м³ воды, причем с 1-й площадки около 813,3 м³, а с 2-й — 1100,4 м³.

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

6. Эту величину коэффициента стока можно сопоставить с испа-

Сток на болоте Галицкий Мох

Месяцы и декады		Первый участок			Второй участок			Атмосферные осадки (в мм)	Средняя суточная температура
		За декаду стекло (в м ²)	Средний модуль (в л/сек. с 1 га)	Максимальный на- блюденный модуль (в л/сек. с 1 га)	За декаду стекло (в м ²)	Средний модуль (в л/сек. с 1 га)	Максимальный на- блюденный модуль (в л/сек. с 1 га)		
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	0,0089	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	56,36	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	19°,8
Июль	1	0	0	0	0	0	0	33,0	18,5
	2	0	0	0	0	0	0	18,1	19,1
	3	0	0	0	0	0	0	10,5	24,5
Август	1	0	0	0	0	0	0	19,0	21,1
	2	1,04	0,001	0,033	2,59	0,003	0,069	34,9	16,7
	3	24,02	0,025	0,220	81,13	0,086	0,455	40,3	15,0
Сентябрь	1	256,6	0,297	1,355	380,68	0,441	1,629	40,0	13,6
	2	273,3	0,315	1,405	408,50	0,473	2,462	80,1	12,2
	3	33,44	0,039	0,141	42,94	0,050	0,171	49,3	—
Октябрь	1	122,98	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	—
Н о я б р ь	1	122,1	0,141	0,235	167,62	0,194	0,355	32,8	—
	2	6,83	0,00	0,020	9,07	0,010	0,034	—	—
	3	0	0	0	0	0	0	0	—

рением. Как указано в п. 2, суточное фактическое испарение за июнь и июль составило 2,6 мм; если бы эту величину распространить на период с 11/VIII по 31/X, т. е. на 72 дня, то расход на испарение за это время составил бы 187 мм; выпало же за этот период 275 мм, должно остаться на сток 88 мм; в действительности за осенние месяцы испарение должно было быть меньшим. За это же время сток, как указано в п. 5, с 1-го участка составил 81,3 мм, с 2-го—110 мм, а в среднем 96 мм, что достаточно близко к остатку 88 мм.

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

Для суждения о типичности или исключительности этих величин следует сравнить высоту осадков лета 1933 г. со средней многолетней (табл. 85).

В результате оказалось, что период июнь—октябрь 1933 г. был 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, а аналогичные величины для других пунктов нам не известны.

Из наблюдений стока с элементарных площадок на минеральной почве наибольшую известность получили наблюдения С. И. Небольсина², проведенные им в течение 1922—24 гг. на двух площадках близ Москвы.

Участки были выбраны на старом клеверном поле, засеянном за 10—12 лет до опытов. Почва—подзолистый суглинок; верхний перегнойный горизонт имеет толщину 10—12 см; пористость почвы 51%, полная влагоемкость

Таблица 85

Месяц	Осадки (в мм)	
	Выпало в 1933 г. на Торфяной станции Инторфа	Средние многолетние по Москве ¹
Июнь	49,8	44*
Июль	47,6	80
Август	115,2	73
Сентябрь	131,2	55
Октябрь	63,8	60
	407,16	312

* За вторую и третью декады.

Таблица 86

№ площадки	Площадь (в м ²)	Длина по диагонали (в м)	Уклон по диагонали
1	2278	89,8	0,020
2	2240	76,7	0,023

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

² С. И. Небольсин. Элементарный поверхностный сток. Материалы по опытно-мелиоративному делу, т. I, 1928.

35—40%. Площадки ограждены земляным валиком и канавой; склон обращен к северу. Размеры площадок представлены в табл. 86.

В табл. 87 приведен максимальный часовой сток при снеготаянии.

Таблица 87

Сток с площадок под Москвой

Год	Максимальный часовой сток с площадки № 2 (в л)	Примечание
1923	8,2	На площади Торфяной опытной станции наибольший весенний модуль в 1933 г. был 0,76 л/сек. с 1 га.
1924	6,7	
1925	5,3	
1926	7,7	

Наибольший весенний суточный сток за отдельные годы был в пределах от 1,55 до 3,25 л; коэффициент стока весенней воды колебался за 5 лет в пределах от 0,44 до 0,76.

Неожиданные результаты дал сток летних дождевых вод, который оказался совершенно ничтожным: коэффициент стока составил 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. Наибольший коэффициент стока 0,35 дал дождь в 17 мм, выпавший после сырой погоды.

Наблюдения над весенним и летним стоком были произведены автором с элементарных пастбищных площадок мелкого чернозема возле г. Воронежа. С площади 1200 м², состоявшей из 16 отдельных площадок, коэффициент стока весенней воды оказался равным 0,90, наибольший часовой сток 8 л/сек. с 1 га, наибольший суточный сток — 2,9 л/сек. Дождевые воды и здесь имели ничтожный коэффициент стока — 0,01 — 0,001. Ливень в 44,1 мм, выпавший на сухую почву, дал коэффициент стока 0,01.

Приведенные наблюдения стока с элементарных площадок не регулярны за различные годы и не могут, конечно, быть сопоставлены друг с другом, однако они констатировали все же, что в летнее время торфяная залежь, прорезанная канавой, дает при наличии дождей значительный сток, который в мокрую осень 1933 г. 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 только по некоторым имеется доброкачественный и обработанный материал.

Первым подобным материалом являются данные по стоку со сфагновых Раменского и Оршинского болот. Данные по весеннему стоку с площадей, почти целиком занятых сфагновым болотом, за три года наблюдений приведены в табл. 88.

Таблица 88

Весенние наибольшие модули сфагновых болот

Пункт	Площадь водосбора (в га)	Модули (в л/сек. с 1 га)		
		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

Наибольший весенний модуль 1909 г. в Раменской даче является преувеличенным; высокая вода из р. Яхромы пошла по каналу на болото, вследствие этого, при последовавшем спаде воды в р. Яхrome, по Макаровскому каналу стекала не только болотная вода, но и речная. Условия 1909 г. в Оршинской даче не были зафиксированы.

Весенние наибольшие пятидневные модули стока на тех же водомерных постах показаны в табл. 89.

Таблица 89

Весенние пятидневные модули

Пункт	Площадь водосбора (в га)	Модуль, (в 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

Наблюдения по Макаровскому каналу производились весной ежедневно вертушкой и поплавками, непосредственно автором, и гру-

бой ошибки содержать в себе не могли; оба болота прорезаны канавами в расстоянии 800—1000 м одна от другой.

Обстоятельно были обработаны материалы наблюдений стока с болотного водосбора по р. Тесовой, впадающей в р. Оредеж (приток р. Луги). Река Тесовая вытекает из оз. Липово, среди большого Тесовского сфагнового болота; на некотором расстоянии от озера речка теряется в болоте и вновь формируется на его окраине.

Наблюдения велись на двух водомерных постах: 1) в с. Замостье, где река имеет водосборную площадь в 107 км², из коих 80% занято сфагновым болотом; 2) в с. Заполье, с водосборной площадью 293 км²; заболоченность в отчете об этих исследованиях не указана, но здесь она значительно меньше 80%, так как речка на участке между сс. Замостье и Заполье протекает среди суходолов.

Годовой модуль стока оказался заметно большим при менее заболоченном водосборе, что видно из табл. 90.

Таблица 90

Сток по р. Тесовой

Год	Годовой модуль (в л/сек. с 1 км ²)	
	с. Замостье	с. Заполье
1930/31	9,90	12,71
1931/32	10,74	9,91
1932/33	4,49	6,94
1933/34	6,04	7,79
Среднее	7,80	9,02

Приведенный результат наблюдений имел бы существенное значение для суждения о влиянии сфагнового болота на сток, но в самом отчете сказано, что рассмотренный период является обильным по выпадению осадков, а кроме того, модуль стока, равный 7,8 л/сек. с 1 км² у с. Замостье, является преуменьшенным; это преуменьшение приписывается неисправности водомерного поста у с. Замостье.

Месячные модули стока у с. Заполье, где наблюдения считаются надежными, оказались в среднем за 7 лет, начиная с 1930/31 г., следующими (в л/сек. с 1 км²):

Сентябрь	8,20	Март	5,13
Октябрь	8,89	Апрель	38,01
Ноябрь	12,10	Май	15,86
Декабрь	4,95	Июнь	5,54
Январь	2,18	Июль	3,59
Февраль	1,67	Август	6,83

Наименьший модуль за летние месяцы имел июль, со средней величиной 0,036 л/сек. с 1 га.

Сводные материалы по стоку с малых болотных водосборов БССР имеются в сборнике «Практические выводы из научно-исследовательских работ Всесоюзного института болотного хозяйства» (1936 г.).

Водосборы покрыты на 40—50% торфяными грунтами травяного происхождения, а в остальной части — мелкопесчаными отложениями.

Таблица 91

Сток с болот в Белорусской ССР

Пункт наблюдений	Площадь водосбора (в га)	Число лет наблюдений	Средний модуль (в л/сек. с 1 га)				
			наибольший весенний	наибольший летний	наибольший осенний	близкий к среднему летнему (30 мая)	наименьший летний
Совхоз У, кан. № 1 . . .	21 052	5	0,411	0,064	0,088	0,039	0,020
» » № 1 . . .	13 526	5	0,387	0,061	0,065	0,049	0,015
» » № 1 . . .	3 508	5	—	0,143	0,388	0,117	0,027
» » № 2 . . .	4 874	5	0,402	0,054	0,140	0,033	0,007
» » № 5 . . .	4 667	5	—	0,040	0,156	0,021	0,011
Река Х, пост 2 . . .	344 335	9	0,466	0,030	0,090	0,043	0,010
» » 4 . . .	221 470	9	0,331	0,038	0,097	0,032	0,013
» » 7 . . .	78 257	9	0,542	0,104	0,203	0,089	0,007

Приведенная табл. 91 показывает, что весенние наибольшие модули в БССР имеют среднюю величину 0,4 л/сек. с 1 га как на осушенном болоте, так и по реке с сильно заболоченным водосбором; тип болот низинный и переходный. Наименьший летний сток сохраняет довольно значительную среднюю величину.

В рассматриваемом отчете Института болотного хозяйства приведено, кроме того, сопоставление вычисленных модулей стока 25% обеспеченности с водосборов заболоченностью 50% и 25—30% (табл. 92).

Таблица 92

Сток с болот в Белорусской ССР (в л/сек. с 1 га)

Характер водосбора	Весенний максимум	Осенний максимум	Летний минимум	Примечание
Заболоченность 50%; остальная площадь — мелкопесчаные отложения, лес . .	0,53	0,185	0,012	25 лет из 100 имеют модуль такой же или больше указанного.
Заболоченность 25—30%; остальная площадь — суглинистые отложения . . .	0,57	0,320	0,039	

Сопоставление стока с сильно и средне-заболоченных водосборов БССР показывает следующее существенное обстоятельство. Бассейны, покрытые на 50% травяными и переходными болотами, а на остальном протяжении поросшие лесом на песчаных грунтах, имеют осенние максимумы и летние минимумы значительно ниже таковых с бассейна, заболоченного на 25—30%, а в остальном покрытого глинистыми грунтами. Весенние максимумы со средне заболоченной площади вычислены по недостаточным материалам и потому не могут быть сравниваемы с сильно заболоченной площадью.

По материалам НКЗема БССР средний летний (июнь—август) модуль стока с водосборов, заболоченных на 20—60%, оказался следующим (табл. 93).

Таблица 93
Сток с малых речных водосборов БССР

Река и пункт	Площадь водосбора (в га)	Сток (в л/сек. с 1 га)	За какие годы
Усвиж-Бук — Загатье	25 509	0,038	1928—29
Кривина — Ганьковичи	28 939	0,054	1927—29
Свеча — Верховое	37 663	0,096	1927—28
Талька — Слобода	40 513	0,021	1927—29
Волма — Заберезины	110 800	0,048	1927—29
Оресса — Верхутино	37 978	0,038	1926—27
Оресса — Кутенки	133 740	0,034	1926—28
Оресса — Андреевка	339 270	0,021	1926—28
Птичь — Крынка	210 762	0,022	1921—29
Птичь — Холопеничи	409 471	0,023	1921—29
Птичь — Лучищи	814 513	0,025	1926
Свислочь — Теребуты	411 458	0,034	1922—29
Свислочь — Притыки	423 840	0,036	1922—29

Из табл. 93 можно вывести, что в БССР средний летний модуль стока с сильно заболоченных водосборов равен 0,035 л/сек. с 1 га.

В бассейне р. Припяти, в районе г. Сарны, с болота Czemerne¹, при водосборной площади 120 км² (из них болот и леса по болоту 108 км²) наблюдаются следующие отдельные модули стока (табл. 94).

Таблица 94

Год	Модуль стока (в л/сек. с 1 га)		
	максимальный весенний	максимальный осенний	минимальный летний
1933	1,02	0,1	0,0025
1934	0,43	0,086	0,0032
1935	0,37	0,041	0,0138

¹ Труды V Гидрологической конференции Балтийских стран, 1936 г. Гельсингфорс. Доклад.

Весенние модули с болота Czemerne оказались близкими по величине с модулями болот БССР; осенние же максимумы оказались очень малыми, возбуждая даже сомнение в их правильности.

Сток по малым рекам Ленинградской области

Наиболее детальные материалы по летнему стоку с малых речных водосборов имеются по Ленинградской области, обработанные первоначально в Северном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации [4]. Материалы включают записи наблюдений уровней по 33 водомерным постам на небольших реках

Таблица 95

Малые речные водосборы Ленинградской области

Группа рек (по % заболоченности)	Река и пункт	Площадь водосбора (в га)	Заболочен- ность (в %)	Лесистость (в %)
I (0—10%)	Веряжа — с. Сырково . .	7 300	1,5	24
	Саря — пост № 13	13 609	6	65
	Пинега — пост № 6	5 073	0	75
	Сапа — пост № 4	6 085	0	70
	Лимба — пост № 3	8 151	5	68
	Сапа — пост № 2	17 150	2,5	59
	Ухтомка	15 900	0	84
	Среднее . .	10 466		63,4
II (11—50%)	Веряжа — с. Вяжище . .	2 432	22	36
	Лавя — пост № 2	7 935	48	50
	Лавя — пост № 11	8 451	46	49
	Кавра — пост № 1	9 679	47	40
	Кавра — пост № 10	11 084	42	40
	Лавя — пост № 6	20 380	42	44
	Замошский канал	5 430	36	33
	Плюсса — пост № 2	21 300	35	17
	Кересть	17 290	28	60
	Перешная	18 000	13	73
	Среднее . .	12 198		44,2
III (> 50%)	Шемакинский канал	2 450	57	39
	Кавра — пост № 9	7 147	57	39
	Плюсса — пост № 3	7 970	67	19
	Андога	17 400	55	37
	Среднее . .	8 742		33,3

Примечание. При последующих вычислениях средних месячных модулей стока два поста на р. Сапе объединены в один, так же, как и три поста на р. Лаве.

области, продолжительностью 1—7 лет, и вычисления по ним расходов воды.

Так как гидрологическая характеристика сфагновых и травяных болот различна, то для дальнейшего анализа влияния заболоченности оставлены реки лишь со сфагновыми болотами; затем из списка исключены водосборы с озерностью в 5% и более. После указанных исключений в списке остаются следующие реки, распределяемые по заболоченности водосбора в три группы (табл. 95).

Таблица 96

Заболоченность водосбора (в %)	Лесистость (в %)
0—10	63,4
11—50	44,2
> 50	33,3

Принимаем климат, почво-грунты и уклоны для рассматриваемых рек одинаковыми. После указанных исключений и допущений основными действующими на сток факторами остаются заболоченность и лесистость.

Расчленив отдельно влияние заболоченности и лесистости по имеющимся материалам невозможно. Если распределить реки по заболоченности на группы в вос-

ходящем порядке, то лесистость этих групп оказывается точно в нисходящем порядке, что видно из табл. 96.

Поэтому остается неизвестным, приписывать ли характер гидрологического режима рек разной заболоченности именно влиянию заболоченности, или же влиянию лесистости. Летние пятидневные максимумы по небольшим рекам Ленинградской области оказываются в достаточно четкой зависимости от заболоченности водосбора (табл. 97).

Таблица 97

Сток с малых речных водосборов Ленинградской области

Группа рек (по % заболоченности)	Средняя величина водо- сбора (в га)	Средние летние пятидневные ма- ксимальные модули стока (в л/сек. с 1 га)					
		1925 г.	1926 г.	1927 г.	1928 г.	1929 г.	1930 г.
I (0—10%)	10 466	0,23	0,11	0,35	0,37	0,17	0,30
II (11—50%)	12 198	0,15	0,093	0,33	0,54	0,07	0,23
III (> 50%)	8 742	0,15	0,083	0,34	0,38	0,10	0,30

Данные таблицы достаточно ясно показывают, что с увеличением заболоченности водосбора летний максимальный сток уменьшается, т. е. наличие сфагновых болот уменьшает паводки.

Это умеряющее влияние болот на паводок в действительности еще более значительно; дело в том, что с увеличением заболочен-

ности водосбора уменьшается процент лесистости, что влияет в сторону увеличения паводка, маскируя, таким образом, регулирующее влияние болот.

Существенно затем проследить, как отражается наличие сфагновых болот на летнем пятидневном минимуме. Однако вычисление минимальных расходов воды, близких к нулю, на малых реках, по наблюдениям уровня воды в них, весьма неточно, так как связь расхода с горизонтом воды меняется в зависимости от засорения и зарастания русла. В приводимых материалах по рассматриваемым рекам резко различны величины минимальных модулей: по одним рекам сток отсутствует, а по другим за то же время он показан сравнительно большим — 0,09 л/сек. с 1 га; такой разницы в действительности быть не могло.

Для суждения о влиянии заболоченности бассейна на сток существенны величины средних месячных модулей стока, которые по рассматриваемым малым рекам показаны в табл. 98.

Таблица 98

Средние месячные модули с малых речных водосборов Ленинградской области
(в л/сек. с 1 га)

Группа рек (по % заболоченности)	Месяц	1925 г.	1926 г.	1927 г.	1928 г.	1929 г.	1930 г.
I (0—10%)	Май	0,126	0,327	0,220	0,170	0,319	0,116
II (11—50%)	»	0,168	0,372	0,301	0,210	0,342	0,126
III (> 50%)	»	0,140	0,425	0,218	0,161	0,318	0,079
I (0—10%)	Июнь	0,139	0,070	0,179	0,091	0,074	0,052
II (11—50%)	»	0,116	0,086	0,210	0,215	0,079	0,077
III (> 50%)	»	0,102	0,066	0,197	0,126	0,070	0,038
I (0—10%)	Июль	0,074	0,061	0,056	0,130	0,050	0,042
II (11—50%)	»	0,077	0,041	0,081	0,228	0,042	0,068
III (> 50%)	»	0,054	0,023	0,055	0,128	0,022	0,022
I (0—10%)	Август	0,075	0,050	0,032	0,198	0,061	0,178
II (11—50%)	»	0,063	0,036	0,040	0,213	0,030	0,157
III (> 50%)	»	0,043	0,032	0,018	0,161	0,019	0,114
I (0—10%)	Сентябрь	0,076	0,052	0,041	0,248	0,055	0,105
II (11—50%)	»	0,085	0,038	0,037	0,283	0,037	0,107
III (> 50%)	»	0,067	0,030	0,014	0,302	0,018	0,112
I (0—10%)	Октябрь	0,158	0,062	0,051	0,229	0,102	0,152
II (11—50%)	»	0,245	0,062	0,077	0,252	0,049	0,165
III (> 50%)	»	0,196	0,029	0,029	0,149	0,031	0,194

Некоторые данные табл. 98 возбуждают сомнения. Непонятно, почему промежуточная заболоченность в 11—50% дает в мае и июне

большие модули стока, чем заболоченность менее 10% и свыше 50%. Сглаживая еще ряд шероховатостей, можно на основании данных табл. 98 сделать по малым рекам Ленинградской области следующие заключения:

1. В мае модуль стока с сильно заболоченных бассейнов больше, чем с слабо заболоченных, что объясняется запаздыванием весеннего стока с болот.

2. В июне модули стока одинаковы при любой заболоченности бассейна.

3. В июле и августе, т. е. в самое сухое время, сток с сильно заболоченных бассейнов Ленинградской области меньше, чем с мало заболоченных; является ли причиной уменьшенного стока с заболоченных водосборов именно наличие болот, или же отсутствие леса, — остается неустановленным.

4. В сентябре и октябре модули стока сильно колеблются без ясной закономерности, и какого-либо одностороннего влияния болот на модуль стока за эти месяцы не прослеживается.

Сток с лесо-болотной площади

Косвенно выявлению стока с болотных площадей совместно с лесными могут служить достаточно точные четырехлетние наблюдения, проведенные автором в 1928—31 гг., по заданию Научно-Исследовательского института лесного хозяйства, на р. Онце, впадающей в р. Оредеж, в 70 км к Ю от Ленинграда, и там же, на ручье Черном и двух осушительных канавах.

Река Онца имеет протяжение всего лишь 8,7 км и вытекает из оз. Ширское, площадью 22,5 га, находящегося на водораздельном сфагновом болоте, с мощностью торфа более 4 м. Уклон реки 0,0016, распределен равномерно по всему ее протяжению.

На р. Онце в 1928 г. было установлено три водомерных поста (табл. 99).

Таблица 99

Водомерные посты на р. Онце

Название поста	Расстояние от истока (в м)	Площадь водосбора (в га)	Средний уклон	Уклон скатов по реке	Заболоченность (в %)	Примечание
Верхний	1 800	1 230	0,0017	Левый 0,0029 Правый 0,0038	21	Заболоченность в действительности значительнее, так как и лесная площадь избыточно увлажнена.
Средний	5 100	2 617	0,0015	Левый 0,003 Правый 0,0047	18	
Нижний	7 300	2 580	0,0016	Левый 0,0031 Правый 0,0043	18	
На ручье Черном	1 500	619	0,0023	—	29	

Растительный покров состоит на 40% из сосны, на 15% — из ели, на 28% — из березы, на 3% — из осины; 4% приходится на лесосеку и 10% — на открытые болота. 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 приведены в табл. 100, наибольшие пятидневные — в табл. 101, а наибольшие летне-осенние паводковые модули стока — в табл. 102.

Таблица 100

Наибольшие суточные модули стока по р. Онце (в л/сек. с 1 га)

Пост	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.	Примечание
Верхний	0,94	0,53	0,57	1,58	В 1931 г., вследствие подтопления от р. Ордеж, величина стока преувеличена
Средний	0,57	0,37	0,37	1,28	
Нижний	0,62	0,50	0,64	1,32	
На руч. Черном	—	0,61	0,63	2,30	

Таблица 101

Наибольшие пятидневные модули стока по р. Онце (в л/сек. с 1 га)

Пост	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Верхний	0,67	0,46	0,46	—
Средний	0,53	0,34	0,33	1,07
Нижний	0,59	0,42	0,52	1,16
На руч. Черном	—	0,54	0,50	2,00

Таблица 102

Наибольшие летне-осенние модули стока по р. Онце (в л/сек. с 1 га)

Пост	Однодневные				Пятидневные			
	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Верхний	1,04	0,26	0,80	0,66	0,88	0,18	0,43	0,41
Средний	—	—	—	—	0,72	0,23	0,33	0,42
Нижний	—	—	—	—	0,66	0,186	0,63	0,33
На руч. Черном	—	—	—	—	—	0,177	—	0,61

Данные табл. 100—102, не давая, конечно, ответа на вопрос о сравнительном стоке с болотных и минеральных водосборов, указывают на другое, достаточно важное обстоятельство: лесо-болотные водосборы Ленинградской области 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 еще Е. В. Оппоков при опубликовании величины стока по каналам Полесья (1923 г). 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 модуль стока за июнь — август по р. Онце приведен в табл. 103.

Таблица 103

Летний сток по р. Онце (в л/сек. с 1 га)

Пост	1928 г.	1929 г.	1930 г.	1931 г.
Верхний	0,016	0,016	0,050	0,054
Средний	0,013	0,012	0,035	0,051
Нижний	0,014	0,025	0,024	—

Сток снежных запасов. В 1931 г. имелась возможность проследить, как уменьшается с болотно-лесного водосбора

Таблица 104

Дата	Осадки (в мм)
21—30/IV	3,0
1—10/V	0,1
11—20/V	2,0
21—31/V	2,4

р. Онцы сток весенних вод, не пополняемый атмосферными осадками. Конец апреля и весь май 1931 г. характеризуются почти полным отсутствием атмосферных осадков (табл. 104).

Максимум весенней воды в 1931 г. на р. Онце был 28 апреля; снежный покров в лесу совершенно сошел к

29 апреля. Указанные условия показывают, что р. Онца и руч. Черный в течение апреля и мая питались исключительно запасами весеннего снеготаяния, и потому, проследив падение расходов воды в этих водотоках (табл. 105), тем самым проследим расходование запасов воды из их водосборов при отсутствии пополнения (рис. 19 и 20).

Приведенные в табл. 105 величины 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 макси-

Падение расхода воды в бездождную весну 1931 г.

Дата	Расход воды (в м ³ /сек.)		Отношения (в %)	
	Нижний пост на р. Онце	руч. Черный	Нижний пост на р. Онце	руч. Черный
Апрель				
27	2,950	1,438	—	—
28	3,395	4,275	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	0,230	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

мума расход составлял всего 50% от максимального, а в течение 28 дней он снизился до 1%.

Весна 1931 г. дает возможность произвести, кроме того, подсчет объема воды, поступившей в р. Онцу со дня начала весеннего таяния,

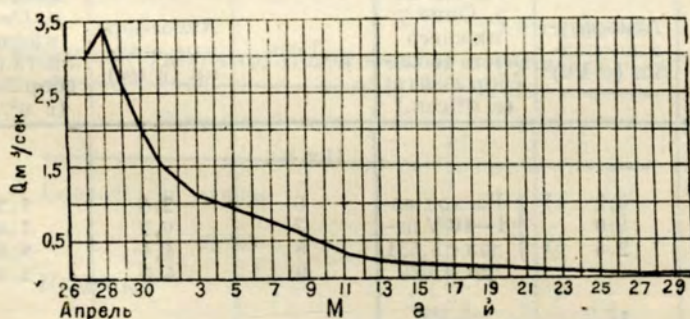


Рис. 19. Расходы воды р. Онцы в бездождный период весной 1931 г. (площадь водосбора 2580 га).

т. е. с 16/IV по день почти прекратившегося стока — 31/V. За указанный срок — с 16/IV по 31/V 1931 г. — через нижний водомерный

пост на р. Онце прошло 2 920 593 м³ воды, что при площади водосбора в 2580 га соответствует стоку слоя воды в 113 мм. Атмосферных осадков выпало за это время 13 мм; следовательно, всего стекло снежной воды и грунтового запаса ровно 100 мм.

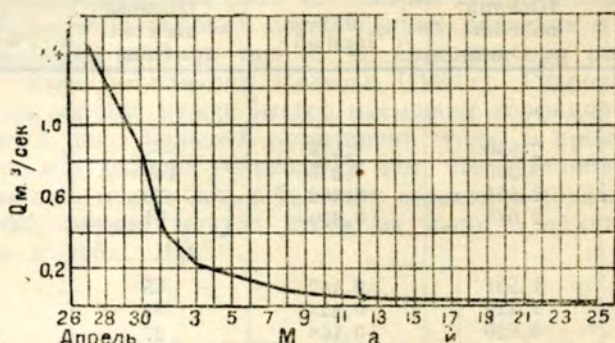


Рис. 20. Расходы воды ручья Черного в бездождный период весной 1931 г. (площадь водосбора 619 га).

Высота снежного покрова при начале таяния определена в 470 мм; при плотности снега 0,35 это дало запас воды в снеге 165 мм, а стекло 100 мм, — следовательно, коэффициент стока снеговой воды 60%. За то же время по руч. Черному стекло 1162 079 м³ воды, что при водосборе 619 га соответствует слою воды 109 мм.

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

Данные табл. 106 показывают, что двухдневные осадки 1—2 июня, равные 35,6 мм, дали сначала незначительное увеличение

Таблица 106

Дата	Атмосферные осадки (в мм)	Расход по р. Онце у нижнего поста (водосбор 2580 га) (в м ³ /сек.)	Дата	Атмосферные осадки (в мм)	Расход по р. Онце у нижнего поста (водосбор 2580 га) (в м ³ /сек.)
Май			Июнь		
1—10	0,1	} Расход за 1—10/V падал с 1,551 до 0,024	6	2,4	1,265
11—20	4,0		7	0,2	1,465
21—31	2,4		8	4,4	1,505
			9	4,5	1,465
Июнь					
1	12,2	0,020			
2	23,4	0,022	10	28,8	1,590
3	0,1	0,223	11	9,7	1,385
4	1,2	0,095	12	7,9	1,225
5	2,1	0,076	13	0,1	1,455

Примечание. Бездождный период с 1 по 31 мая.

расхода воды в р. Онце, благодаря попаданию дождевых вод в русло, в канавы и на скаты возле реки; эта вода держалась один день и начала быстро спадать. Лишь на 4—5-й день после этих дождей вода в реке сильно поднялась; объяснения этому не имеется, можно лишь предполагать, что это пошла вода дождей, выпавших 1—2 июня, просочившаяся через торфяной и глинистый грунт.

Сток в связи с уровнем грунтовой воды на болоте

Сток с болота находится в связи с уровнем грунтовой воды на болоте; однако установление количественной связи между величиной стока и расстоянием уровня грунтовой воды от поверхности для болот еще не осуществлялось, в то время как для многих озер такие связи между стоком и уровнем воды выведены. В виде первой попытки приведем кратковременные материалы по сфагновым болотам — Пидебскому и Гладкому.

Сток с болота прекращался при следующих расстояниях уровня грунтовой воды от поверхности болота (табл. 107).

Таблица 107

Название болота	Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)		Примечание
	1935 г.	1936 г.	
Гладкое, по канаве .	—	16	Слабо заметная канава, заросшая сфагнумом То же
» » ручью .	—	17	
Пидебское	10	8	

Сток с болота после засушливого периода начинался при следующих расстояниях уровня грунтовой воды от поверхности болота (табл. 108).

Таблица 108

Расстояние уровня грунтовой воды от поверхности (в см)

Название болота	1936 г.
Гладкое, по канаве	14
» » ручью	10
Пидебское	9

Сток с больших речных бассейнов

Многие реки второго порядка Европейской части СССР, особенно притоки Днепра, Волги и Камы, могут служить в некоторой мере объектами для изучения влияния на сток отдельных фак-

торов: заболоченности, лесистости, геологии бассейна, метеорологических элементов. Однако многообразность сочетания факторов делает невозможным выделение действия какого-либо из них в отдельности.

Имеются непосредственные попытки показать влияние болот на сток р. Припяти в сопоставлении со стоком р. Днепра и других его притоков; при этом одни и те же материалы дают возможность приходить к разным заключениям.

Например, Е. В. Опшников¹ дает следующую таблицу модулей стока по бассейну р. Днепра (табл. 109).

Таблица 109

Река и пункт	Площадь водосбора (в км ²)	Осадки за 1884—1917 гг. (в мм)	Модуль стока (в л/сек. с 1 км ²)					
			средний годовой	весенний	летний	осенний	зимний	летний за 1921 г.
р. Днепр—г. Лоев . .	97 589	577	6,3	11,8	3,3	3,5	3,2	1,3
р. Припять—г. Мозырь	100 283	578	4,0	7,1	2,3	2,2	2,5	0,41
р. Десна—устье . . .	86 829	543	4,0	8,8	2,1	1,9	1,9	0,70

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

1. Сток по р. Припять в течение года более выровненный, чем по рр. Десне и Днепру.

2. Весенний сток по р. Припять меньше, а летний, осенний и зимний больше, чем по р. Десне на 12%, хотя атмосферных осадков в бассейне р. Припять выпадает всего на 6% больше, чем на водосборе р. Десны.

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

Отличие бассейна р. Припять состоит в следующем: а) площадь болот в пределах бассейна около 19,1% и леса — около 24,5%, в то время как в водосборе р. Десны болот 5,7%, а леса — 13,7%, т. е. значительно меньше; б) большие притоки рр. Припять, Стырь и Горынь берут начало в Карпатских горах.

Учитывая приведенные ранее материалы о характере растительности болот, по испарению с поверхности сфагновых мхов, по стоку с элементарных площадок на Торфяной опытной станции и по стоку малых рек Ленинградской области, представляется возможным увеличенный летний сток по р. Припять приписывать совместному гидрологическому влиянию болот и лесов, распространенных в ее

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

бассейне, а смягчение весенних паводков отнести за счет сравнительно малых уклонов водосбора.

Показанные в табл. 109 величины модулей стока для самого засушливого 1921 г., для р. Припять меньше, чем по р. Десне, 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 водосборам рр. Десны и Припяти, так как они, может быть, значительно различались, но сделать это невозможно, потому что метеорологические наблюдения по водосбору р. Припять за 1921 г. не вошли в опубликованные материалы.

Выражение стока с болот формулами

Систематизация стоковых материалов, преимущественно по средним и крупным рекам Европейской части СССР, впервые была произведена инж. Кочериным¹. Предлагая формулы для исчисления максимального стока, Кочерин учитывал влияние болота на максимальный сток по сравнению с минеральными грунтами коэффициентом 0,7, но таким же по величине коэффициентом им учитывается как влияние плоской степи, так и влияние сплошной лесистости.

Д. Л. Соколовский предлагает вычислять весенний модуль стока с болот по формуле:

$$q = \frac{A}{\sqrt[4]{F}},$$

где F — площадь водосбора в км²,

q — модуль стока в м³/сек. с 1 км²,

A — параметр, в свою очередь выражаемый формулами:

а) для вычисления весеннего стока, обеспеченного на 5% (5 лет из 100 имеют весенний максимальный модуль стока не меньше вычисляемого):

$$A = 2,30 - 1,36 \lg (z + 0,25 \beta + 1);$$

б) для вычисления весеннего стока, обеспеченного на 1% (один раз в 100 лет):

$$A = 3,28 - 2,03 \lg (z + 0,25 \beta + 1),$$

здесь z — процент озерности водосбора;

β — процент заболоченности водосбора.

Пример. При величине водосбора 16 км², заболоченности $\beta = 40\%$ и отсутствии озер весенний модуль 5% обеспеченности получается равным:

$$A = 2,30 - 1,36 \lg 11 = 0,94,$$

$$q = \frac{0,94}{\sqrt[4]{16}} = 0,47 \text{ м}^3/\text{сек. с 1 км}^2, \text{ или } 4,7 \text{ л/сек. с 1 га.}$$

¹ Кочерин А. И. Вопросы инженерной гидрологии, 1932.

При водосборе 625 км² и той же заболоченности $\beta=40\%$:

$$q = \frac{0,94}{4 \sqrt[4]{625}} = \frac{0,94}{5} = 0,19 \text{ м}^3/\text{сек. с 1 км}^2, \text{ или } 1,9 \text{ л/сек. с 1 га.}$$

Получаемые по формуле Д. Л. Соколовского модули весеннего стока с болот превышают приведенные в настоящей работе величины, полученные в результате кратковременных наблюдений.

Следует отметить, что влияние болот на максимальный сток во всех случаях сочетается с влиянием мало уклонной поверхности, и остается недостаточно известным, какой именно фактор влияет больше: наличие торфяного грунта или малого уклона.

Для расчета проектных размеров регулируемых рек-водоприемников с болот и магистральных водоотводных каналов автором [45] в 1924 г. предложена формула месячных высоких летних модулей:

$$q = K \frac{3}{\sqrt[3]{F}} \cdot \sqrt[4]{\frac{I}{0,0003}},$$

где:

q — средний из наибольших за каждый год месячных летних модулей стока в л/сек. с 1 га,

F — площадь водосбора в га,

I — средний уклон по оси водосбора,

K — коэффициент, учитывающий влияние отношения $\frac{\text{осадки}}{\text{испарение}}$

(для БССР $K = 1$, для Московской области $K = 0,87$, для Ленинградской области $K = 1,05$).

Последний раз эта формула была проверена в 1933 г. на материалах наблюдений стока по р. Верхите (БССР). В предупреждение происходящей иногда неясности значения q в этой формуле приводим сущность проверки.

Из материалов Гидрометслужбы БССР были выбраны за каждое лето наибольшие месячные модули, которые оказались равными:

Год	Месяц	Макс. месячный модуль (в л/сек. с 1 га)	Год	Месяц	Макс. месячный модуль (в л/сек. с 1 га)
1894	Июнь	0,035	1904	Июль	0,0538
1895	Июль	0,058	1905	Июнь	0,0818
1896	»	0,0262	1906	»	0,0725
1897	»	0,0411	1907	»	0,0842
1898	»	0,0365	1908	»	0,106
1899	»	0,242	1909	»	0,121
1900	»	0,0311	1910	»	0,082
1901	»	0,019	1911	Июль	0,1196
1902	Август	0,226	1913	»	0,130
1903	»	0,123			

Среднее из наибольших месячных значений модуля стока получилось равным:

$$q = \frac{1,69}{19} = 0,0892 \text{ л/сек. с 1 га.}$$

Площадь водосбора р. Верхиты у водомерного поста, при выходе реки из Бабиновического озера, составляет 367 км², из них на болота приходится 28%, а на леса — 22%.

Подставляя площадь водосбора (в га) в формулу и отбрасывая множитель, учитывающий влияние среднего уклона, — так как величина его не дана, а в среднем для условий БССР он равен 0,0003, поэтому множитель обращается в единицу, — получаем:

$$q = \frac{3}{\sqrt{36700}} = \frac{3}{33} = 0,091 \text{ л/сек. с 1 га,}$$

что весьма близко к действительной наблюдаемой величине — 0,089 л/сек. с 1 га.

Средний летний модуль стока по речкам с заболоченными водосборами, на основе просмотра имевшегося материала, дан автором в следующих величинах, не зависящих от размеров водосбора:

Для Московской области	0,025	л/сек. с 1 га
» БССР	0,035	» »
» Ленинградской области	0,055	» »

В мелиоративном проектировании введен еще и бытовой сток, под которым разумеется сток наибольшей повторяемости (частоты) за вегетационный период. Эта категория стока по величине несколько меньше среднего летнего стока.

Влияние на сток осушения и культуры болот

Логические предпосылки, в некоторой мере обоснованные, к разрешению вопроса о влиянии осушения и культуры болота на сток воды с него даны в главе VII («Испарение с болот»).

Прорытие канав облегчает сток воды и этим вызывает понижение уровня грунтовой воды на болоте, которое в свою очередь вызывает уменьшение испарения; поэтому прорытие канав, несомненно, увеличивает суммарный сток с болот всех типов. Однако последующее освоение осушаемых болот под сельскохозяйственные культуры, особенно под посев многолетних травяных смесей, увеличивает испарение через травяную растительность; следовательно, создается два противоположно действующих обстоятельства, особенно резко выявляющихся на сфагновых болотах: прорытие канав уменьшает испарение с болот, а сельскохозяйственные культуры — увеличивают его, особенно с бывшего сфагнового болота. Лишь предположительно, можно считать, что в совокупности действия осушения и культуры испарение со сфагновых болот, бывших покрытыми очесом, вереском, кассандрой, багульником, увеличится, а с бывших травяных болот — останется без изменения или даже уменьшится.

Сопоставление материалов наблюдений над стоком с болота

до и после осушения и культуры опубликовано по Кедингерскому сфагновому болоту, в округе Штаде (Германия). Осушение болота начато в 1892 г., а культивирование — в 1900 г.; к концу 1909 г. было закультивировано 226 га. Опасались, что после осушения болота увеличится сток с него и будет происходить затопление ниже лежащих земель. В 1900 г. на осушаемой площади был поставлен дождемер, а на магистральном канале установлен водослив. Осадки и сток по годам оказались следующими (табл. 110).

Таблица 110

Сток с осушаемого и культивируемого болота

Год	Осадки (в мм)	Сток (в мм)	Коэффициент стока	Испарение как раз- ность (в мм)	Испарение по трехле- тиям (в мм)	Сток по трехлетиям (в мм)
1901	610	363	0,60	247	} 378	} 443
1902	919	476	0,52	443		
1903	932	489	0,52	443		
1904	628	323	0,52	300	} 394	} 358
1905	885	378	0,43	507		
1906	742	368	0,49	374		
1907	615	265	0,43	350	} 389	} 270
1908	768	317	0,41	451		
1909	594	227	0,38	367		

За рассмотренное 9-летие абсолютная величина стока и коэффициент стока уменьшались почти правильно с каждым годом и резко уменьшались по 3-летиям, испарение же, — не столь правильно и не так резко, — увеличивалось.

Приведенный материал недостаточен и является единственным, обобщать его нельзя, но все же он дает подтверждение тому суждению, что сфагновые болота после осушения и сельскохозяйственного освоения увеличивают испарение и потому уменьшают суммарный сток.

Дренажный сток с торфяного и глинистого грунтов

В 1933 и 1934 гг. на четырех опытно-мелиоративных участках (Кобулетском, Сунсинском, Чаладидском и Квалонском) в Колхидской низменности был заложен подземный дренаж из стальных и бамбуковых труб.

Результаты наблюдений за 1934 г. приводятся в табл. 111.

Итоги наблюдений за 1934 г. весьма специфичны: сфагновый торф в Кобулетах давал грунтовый сток непрерывно в течение всего года, причем суммарный годовой сток оказался большим, чем выпало атмосферных осадков: расходовался запас воды, бывший в торфянике перед дренажем.

Участок	Грунт	Дней с осадками	Дней стока по дренам	Период на- блюдений (в днях)
Кобулеты	Торф сфагновый	136	365	365
Квалонь	Глина	136	121	365
Супса	Суглинок легкий	12	162	186

Легкий суглинок в Супсе давал грунтовый сток в течение 90% всех дней наблюдений; при 92 днях с осадками сток происходил в течение 162 дней; следовательно, каждый день осадков давал дренажный сток в течение 1,8 суток.

Глина на Квалонском участке давала грунтовый сток в течение 34,5% всех дней наблюдений; при 136 днях с осадками сток происходил в течение 126 дней; следовательно, каждый день осадков давал дренажный сток в течение 0,9 суток.

Все три пункта сильно разнятся по годовому количеству выпавших осадков: в Кобулетах 2256 мм, Квалони 1600 мм, в Супсе 2545 мм.

Более детально просмотрим записи наблюдений дренажного стока за январь — июнь 1935 г. по Кобулетскому и Супсинскому участкам. Записи получены от Колхидской опытно-мелиоративной станции в виде величин секундного расхода воды по дренам за каждый день.

Расстояния между линиями стального дренажа в Кобулетах и в Супсе почти одинаковы.

В Кобулетах было создано:

4	полосы шириною по	5 м
3	»	» 10 м
2	»	» 20 м

В Супсе:

4	полосы шириною по	5 м
3	»	» 10 м
3	»	» 15 м

Сток дренажных вод в 1935 г. в Кобулетах из торфяного грунта и в Супсе из суглинка идет совершенно различно. К сожалению, точное сопоставление суммарного стока невозможно, так как в некоторые дни устья дрен были затоплены, и потому расход воды не мог быть определен. Однако просмотр модулей стока ясно показывает, что дренажный сток из торфяного грунта в Кобулетах значительно превышает сток из легкого суглинка в Супсе.

Апрель, май и июнь были такими месяцами, когда устья дрен ни разу не были затоплены, поэтому за это время можно точно сравнить модули стока.

Средние величины модуля стока за апрель оказались:

Из торфяного грунта в Кобулетах	0,480 л/сек. с 1 га
» легкого суглинка в Супсе	0,025 »

Количество атмосферных осадков за апрель в Кобулетах составляло 46 мм, в Сунсе 26 мм; за предшествующий месяц — март — количество осадков в обоих пунктах было почти одинаковым; точные величины по Кобулетам подсчитать невозможно, так как нет записи осадков за 10 марта, когда был сильный дождь.

Разницу в модулях стока за апрель из торфа и суглинка следует приписать лишь различным свойствам этих грунтов.

За май по Кобулетам из торфяного грунта сток не прекращался ни на один день, давая в среднем за месяц 0,405 л/сек. с 1 га. По Сунсе же из суглинка сток за май был лишь в течение первых 6 суток, после чего прекратился на весь месяц.

В течение июня сток из торфа не прекращался, дав в среднем 0,069 л/сек. с 1 га, а из суглинка стока не было ни одного дня.

За июль прекращения стока из торфяного грунта также не было, а из суглинка сток наблюдался в течение 9 дней, а 22 дня стока не было.

Следовательно, по сравнению с суглинком, сфагновый торф был прекрасным регулятором стока.

Выводы

1. Сравнительных наблюдений по стоку с специально выбранных заболоченных и незаболоченных площадей, в целях сопоставления стока с них, нигде не производилось; поэтому для суждения о том, как влияет торфяное болото на суммарный сток, на максимумы и минимумы стока, приходится решать, подбирая материалы наблюдений, производившихся для целей мелиорации и водного транспорта.

2. Длительные и контролировавшиеся гидрометрические наблюдения имеются лишь на судоходных больших реках, влияние отдельных геологических образований и ландшафтов в бассейнах которых проследить оказывается невозможным.

Наблюдения на малых реках, с водосбором 10 000 — 100 000 га, на которых можно бы проследить влияние торфяных, песчаных и глинистых грунтов, велись, к сожалению, почти бесконтрольно, обрабатывались с большим опозданием и потому включают в себе бросающиеся в глаза неправильности.

Это замечание в полной мере относится к материалам наблюдений стока на 33 постах на малых реках Ленинградской области.

3. Максимальные наблюденные модули стока со сфагново-торфяных водосборов, как с очень малых, так и с площадей в несколько тысяч га, в районе Калинин — Москва оказываются достаточно большими — 2,5 л/сек. с 1 га. В районе БССР таких модулей не зафиксировано. Предлагаемые же формулы максимального стока (малообеспеченного) с болот дают еще большие модули стока.

4. Весенний многолетний максимум стока с болот близок к величине 0,4—0,5 л/сек. с 1 га, что значительно меньше многолетнего весеннего максимума с минеральных бассейнов.

5. Средние летние модули стока с заболоченных бассейнов близки к следующим величинам:

В Украине	0,02	л/сек. с 1 га
В Белоруссии	0,035	» »
В Московской области	0,025	» »
В Ленинградской области	0,055	» »

6. Средний многолетний из наибольших за каждый год месячных летних модулей стока с заболоченных площадей БССР, Пскова, Новгорода и Ленинграда достаточно близко выражается формулой:

$$q = \frac{3}{\sqrt{F}},$$

где q — в л/сек. с 1 га, F — в га.

7. Наличие болот на водосборной площади реки, как показывают материалы по малым рекам Ленинградской области, уменьшает весенние и летние паводки; это положение выражено в опубликованных и неопубликованных формулах стока малой обеспеченности, выведенных также по материалам и других районов.

8. Материалов длительных наблюдений над изменением стока после прорытия осушительных канав и после регулирования болотных рек не имеется. Сопоставления стока до и после регулирования р. Орессы (БССР) и р. Дубны (Московская область) не дают решения вопроса. Произведенные наблюдения на Кедингерском болоте в Германии также не решают вопроса, дав неопределенные результаты.

9. Наличие канав снижает уровень грунтовой воды на болоте и уменьшает этим испарение, вследствие чего суммарный сток с канализованных болот, как представляется логически несомненным, должен снижаться; однако последующее занятие болота сельскохозяйственными культурами или лесом увеличивает испарение через растительность и как сложится равнодействие двух противоположно действующих факторов, — канализации и культурной растительности, — остается неизвестным.

10. Уверенно полагать, как это обычно делается, что после прорытия канав по торфяному болоту паводковый сток с болота увеличивается, — нет логических оснований. Канализация снижает уровень грунтовой воды, создавая этим аккумулятивный поверхностный горизонт торфа и очеса, который задерживает в себе часть снеговых и ливневых вод; неосушенный торфяник, насыщенный водой, обладает меньшим аккумулятивным слоем торфа и очеса.

11. Значительные разногласия в прошлом и сомнения в настоящее время вызывает вопрос о сравнительных величинах стока с бассейнов, сложенных торфяными и минеральными грунтами.

Разноречивость логических суждений и неоднородность материала гидрометрических наблюдений, проводившихся для других целей, должны быть сглажены уточнением вопроса. Сфагновые и траяные болота резко различаются по растительности; поэтому величина испарения с них и величины фильтрации различны. Глинистый и песчаный грунты также создают противоположные между собой условия испарения, фильтрации и стока; поэтому нельзя противопоставлять просто болота и минеральные грунты. Однако такой необходимой детализации еще почти не имеется.

12. Сравнивая два бассейна, из которых один сильно заболочен, а другой — не заболочен, и получая разницу в режиме стока, нельзя еще приписывать это именно наличию болота. Наличие леса, или вместо леса пашни, оказывает свое решающее влияние на сток; наличие песчаного или глинистого грунта также может привести к противоположным заключениям о влиянии, якобы, болота на сток; это может оказаться влиянием леса или влиянием песчаного грунта.

13. Приведенное в настоящей главе сопоставление суммарного годового стока с сильно заболоченного водосбора р. Тесовой и с менее заболоченного участка бассейна той же реки ниже по течению, стока с малых рек Ленинградской области разной заболоченности и стока с канализованных площадей в БССР, так же разной заболоченности — показывает, что суммарный сток с сильно заболоченных площадей за летнее время и за годовой период при наличии сфагновых болот меньше, чем с менее заболоченных бассейнов.

Имеющийся материал недостаточен и неточен, однако, даже при том качестве и в количестве, в котором он имеется, он показывает, что суммарный сток с болотных площадей меньше, чем с минеральных; минеральными грунтами в Ленинградской области являются обычно суглинки.

14. Минимальный сток, т. е. сток большой обеспеченности, с болотных площадей не имеет точно измеренных величин, так как захламленность и зарастание русел болотных речек не дают возможности вычисления расхода воды по горизонту, отсчитываемому по рейке.

ГЛАВА X

ХИМИЗМ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

По химическому составу органической массы торф занимает промежуточное положение между древесиной и углем (табл. 112).

Таблица 112

Вещество	Вода (в %)	Зола (в % от сухого вещества)	Состав органического вещества (в %)			
			C	H	O+N	S
Дерево	16	1,5	49,5	6,3	44,2	—
Торф (в воздушно-сухом состоянии)	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 значительно варьирует в зависимости от растений, образовавших торф, и от степени его разложения.

Обычно в курсах болотоведения приводится таблица анализов сухого вещества торфа различного происхождения, составленная на основании исследований Цейлера и Вильке (Германия). В со-
кращенном 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—10%

Зольность торфяных залежей областей СССР на основании 18 229 определений, вычисленная Д. А. Герасимовым, приводится в табл. 113.

Зольность болот СССР (в % от сухого вещества)

Район	Верховое болото		Низинное болото	
	Средняя зольность	Пределы зольности	Средняя зольность	Пределы зольности
Северный	3,49	3,35—4,10	7,38	—
Ленинградский	3,68	2,00—4,00	6,00	4,65—9,00
Центральный Промышленный	3,48	1,99—5,58	8,60	5,20—23,13
Уральский	3,48	2,67—5,24	7,72	4,76—33,52
Средне-Волжский	3,33	2,71—3,68	13,99	8,00—22,78
Центрально-Черноземный	4,69	—	13,50	9,00—20,27
Западный район и БССР	3,05	2,50—4,47	8,68	3,09—25,90
УССР	—	—	17,83	4,70—34,56

Зольность торфяной залежки обуславливается не только растениями-торфообразователями, но также и поступлением зольных веществ со стороны. Болота, затопляемые паводковыми водами, обогащаются золою вследствие оседания на них приносимого водою ила. Кроме того, заметным источником увеличения зольности являются пыль и мелкий песок, наносимые ветром.

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.

Анализы торфов БССР показали следующую разницу в содержании питательных веществ (в %) для растений в осоковых и сфагновых торфах (табл. 114).

Таблица 114

Тип торфа	Зола	Азот	Фосфор	Известь	Калий	Кремний	Железо
Травяно-осоковый	16,6	3,14	0,24	2,65	0,04	0,21	2,5
Сфагновый	6,8	1,32	0,26	0,67	0,06	0,14	0,6

Принимая вес сухого вещества в 1 м³ травяно-осокового 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
Калия	» 1,9 »
Фосфорной кислоты	» 2,7 »
Азота	» 6,0 »

Несмотря на разнообразие видов торфа, общее положение формулируется достаточно ясно: торф травяного происхождения раз в пять богаче питательными для растений веществами по сравнению с сфагновым торфом. Поэтому, как правило, под сельскохозяйственные культуры должны идти низинные травяные болота, а под выработку торфа — возвышенные сфагновые болота.

Воды, насыщающие торфяные болота, бывают мягкие и жесткие. Мягкие воды, имеющие кислую реакцию и бедные химическими основаниями, присущи верховым болотам, а жесткие воды, насыщенные щелочно-земельными металлами (кальций, магний), — свойственны лесным болотам.

Болотные воды действуют разрушающе на бетонные сооружения, например, на устои мостов и на заложенные в торфе бетонные трубы. Предполагается также, что наблюдаемый иногда зимой в реках и озерах под льдом замор рыбы вызывается болотным питанием этих рек и озер.

В указанных двух явлениях выражается агрессивный характер болотных вод, причина которого кроется в их химизме.

Химизм болотных вод важен еще тем, что указывает, какие вещества и в каком количестве выносятся из болота стекающими водами, в частности, полезные или вредные для культурной растительности.

Указанные явления агрессии болотных вод составляют содержание комплексной работы гидрохимика с гидротехником и гидрохимика с гидробиологом.

Из общего комплекса работ может быть выведена еще одна часть, сочетающая работу гидрохимика и гидролога, а именно: вопрос о количестве выносов с болот требует, помимо анализа воды, еще и измерения расхода стекающей воды. В отношении химизма болотных вод некоторый материал имеется по работам Государственного гидрологического института за 1935—37 гг.

Объектом исследования явились воды болот по р. Онце (Сиверский леспромхоз, в 60 км к Ю от Ленинграда) и болото Гладкое (в 50 км к ЮЮВ от Ленинграда).

В Сиверском леспромхозе в 1935 г. регулярно один раз в 5 дней брались пробы воды из р. Онцы, руч. Черного, из канавы в 20-м квартале и из 4 смотровых колодцев на сфагновом болоте в 18-м квартале. Характеристика водосборов по водотокам Сиверского леспромхоза дана в табл. 115.

По Гладкому болоту пробы брались: 1) из канавы, проходящей целиком по сфагновому болоту, со слабо разложившимся торфом, и частично покрытому лесом; 2) из ручья, водосбор которого на 50% покрыт лесом, и 3) из р. Тосны, имеющей лесо-болотный водосбор.

Пробы воды доставлялись в лабораторию и подвергались анализу на сухой остаток, зольность, кислотность, окисляемые вещества, содержание кислорода.

Водоток	Площадь водосбора (в га)	Заболоченность (в %)	Лесистость (в %)	Примечание
р. Онца	2580	18	87	Болота сфагновые и сфагново-пушицевые, с сосенками. На суходоле сосново-еловый лес.
руч. Черный	619	29	—	
канавы в 20-м квартале	100	—	100	

Содержание сухого органического остатка в отфильтрованной пробе воды, после выпаривания и высушивания ее при 105° , и минерального остатка, после прокаливании, в среднем по месяцам приведено в табл. 116.

Таблица 116
Содержание сухого вещества (в мг/л)

Месяц	Сиверский леспромхоз (Онцевское болото)						Гладкое болото					
	р. Онца		руч. Черный		Канавы в 20-м квартале		канавы		ручей		р. Тосна	
	орг. вещества		орг. вещества		орг. вещества		орг. вещества		орг. вещества		орг. вещества	
	орг. вещества	зола	орг. вещества	зола	орг. вещества	зола	орг. вещества	зола	орг. вещества	зола	орг. вещества	зола
1935 г.												
Июнь	112	52	130	51	60	24	—	—	—	—	—	—
Июль	74	59	73	74	68	24	67	7	—	—	125	31
Август	93	36	83	91	62	78	55	39	83	68	63	19
Сентябрь	49	33	65	56	57	52	36	32	63	28	62	14
Октябрь	75	25	92	33	82	27	69	5,5	84	28	69	13
Ноябрь	—	—	—	—	—	—	88	3,5	61	12	66	42
Декабрь	75	42	92	27	84	77	—	—	—	—	—	—

При среднем модуле стока с болот за июнь — октябрь в 0,06 л/сек. с 1 га вес растворенного в воде выноса с болот вычисляется примерно в следующих величинах (табл. 117).

Таблица 117

Период	Органич. вещества (в кг)	Зола (в кг)	Всего (в кг)
Сутки	0,287	0,164	0,451
Месяц	8,61	4,92	13,53

ГЛАВА XI

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ БОЛОТ

Время замерзания и оттаивания и глубина промерзания болот

Наиболее резкими проявлениями температурного режима болот являются: замерзание и оттаивание болот, а также заморозки на их поверхности.

Глубина и время промерзания болот, а затем их оттаивание имеют большое значение в народном хозяйстве: по болотам проходят временные зимние дороги, с весны начинается выработка торфа и сельскохозяйственные работы; перечисленные виды эксплуатации связаны с глубиной промерзания болот, аналогичной замерзанию озер и рек.

Температурный режим на поверхности болот, особенно резко проявляющийся при поздних замерзаниях, влияет на выбор сельскохозяйственных культур и время их возделывания.

Специфическое значение получает продвижение по болотам в условиях военных действий. Кратчайшие расстояния в различных направлениях проходят весьма часто через болота; проходимость же этих болот резко меняется.

В летнее время условия продвижения по болоту зависят, главным образом, от растительного покрова, от обводненности болота и от мощности слоя торфа. Зимой возможность передвижения по болоту тяжелых грузов создается, главным образом, промерзанием торфяного грунта вместе с водой и отчасти наличием снежного покрова.

Метод определения наличия замерзания болота элементарен. По ходовой линии, через каждые 10 м, железной штангой производится удар, ясно показывающий наличие или отсутствие мерзлоты в данной точке; после пробы на большом числе точек выводится процент площади замерзания на данный день. Процесс замерзания болота идет мозаично: на кочках раньше, между кочками позже; оттаивание происходит, наоборот, на кочках позже, а между кочками — раньше; из двух соседних точек на одной имеется мерзлота, а на другой — нет.

Глубина промерзания определяется с большими ошибками и не имеет установленного метода. Обычно мерзлый слой болота пробивается ударами острой пешни и промерзлый слой в пробитой лунке определяется промером линейкой на-ощупь. В последнее время вместо простой линейки употреблялась рукоятка с насаженной на нее железной треугольной пластинкой; пластинка

вводится в лунку, подводится под нижнюю поверхность промерзшего слоя и острым, режущим ребром прижимается к этой поверхности; в таком положении по рукоятки проводится отсчет глубины промерзания.

Глубина промерзания оказывается весьма различной на смежных точках: в кочке, вследствие рыхлой здесь структуры льда — больше, в мочажине между кочками, в связи с наличием более плотного льда, — меньше.

Наиболее надежный материал по промерзанию и оттаиванию торфяного болота получен Новгородской болотной опытной станцией.

Болото, на котором производились наблюдения, — переходного типа, осушено в 1918 г. и культивировано; глубина торфа 1 м. Одновременно в районе болота велись наблюдения над глубиной промерзания глинистого грунта.

Глубины промерзания болота (по декадам) в среднем за 6 лет наблюдений приведены в табл. 118.

Уменьшение мерзлого слоя началось в первой декаде апреля. В течение 3 лет во второй декаде мая мерзлый слой не наблюдался, в третьей декаде мая, в течение 4 лет, мерзлота отсутствовала. Средняя из наибольших глубин промерзания торфяного грунта оказалась равной 25 см, а глинистого грунта — 37 см.

На основании шестилетних наблюдений Новгородской станции можно сделать следующие выводы:

1. Начало промерзания торфяного и глинистого грунта происходило одновременно, с большими колебаниями сроков в отдельные годы; за период 1924 — 30 гг. самый ранний срок заморзания — вторая декада ноября, а самый поздний — начало февраля.

2. Оттаивание торфяного грунта происходило, как правило, позже глинистого на 1—2 декады и два раза (в 1927 и 1928 гг.) из шести лет затянулось до конца мая; оттаивание происходит одновременно сверху и снизу.

3. Наибольшая глубина промерзания для торфяного грунта зафиксирована равной 42 см, а для глинистого — 56 см.

Совершенно специфичным для торфяного грунта является случай нахождения в 1916 г. возле Ленинграда на Шуваловском сфагновом болоте мерзлоты на глубине 78 см еще 21 августа, в виде отдельных изолированных ледяных включений, толщиной 16 см [120].

Восьмилетние наблюдения (1932/33 — 1939/40 гг.) глубины промерзания на неосушенном болоте возле г. Архангельска дали следующие результаты, приведенные в табл. 119.

Уменьшение мерзлоты начиналось в первой декаде мая. К 20 мая в течение 2 лет, мерзлоты уже не наблюдалось, а в 6 годах мерзлый слой в среднем составлял 16 см. К 30 мая, в течение 4 лет, мерзлота отсутствовала, а в 2 годах была равной в среднем 13 см. К 10 июня, в течение 7 лет, мерзлоты не наблюдалось, и только в один год толщина мерзлого слоя составляла 10 см.

Средняя из наибольших (годовых) глубин промерзания осушенного торфяного болота возле Архангельска получилась равной

Глубины промерзания Новгородского болота (в см)

Месяц и декада Период наблюдений	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1924/25—1929/30	0	0	1	5	6	13	13	13	16	23	22	24	25	28	28	23	17	13	8	4	2

Таблица 119

Глубины промерзания болот у г. Архангельска (в см)

Тип болота	Ноябрь	Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель			Май	
	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20
Моховое (открытое)	2	6	10	14	16	18	21	23	23	24	25	26	26	26	26	25	20	12
Травяно-моховое (лесное)	3	7	10	13	16	17	20	20	22	23	24	24	25	25	—	—	—	—

41 см, а наибольшая — 61 см; соответствующие глубины промерзания суглинистого грунта — 73 и 115 см.

Кроме вышеприведенных сведений о промерзании болот имеется ряд кратковременных наблюдений за глубиной промерзания болот Северного района, результаты которых даны в табл. 120.

Таблица 120

Глубины промерзания северных болот (в см)

Характер болота и место- положение	Период наблю- дений	Ноябрь		Декабрь		Январь		Февраль		Март		Апрель	
		30	10 20 30	30	10 20 30	30	10 20 30	30	10 20 30	30	10 20 30	30	10 20
Неосушенное; г. Усть-Цыльма (при метстанции)	1934/35— 1935/36	—	—	—	12 13 15	16 17 18	18 19	—	—	—	—	—	—
Неосушенное, низинное; г. Шенкурск (при метстан- ции)	1933/34— 1934/35	—	—	—	—	17 17 18	—	19 19	15*	—	—	—	—
Низинное (с березой и елью); Вильгортское опытное поле (у г. Сыктывкар, обл. Коми)	1933/34— 1935/36	7 15	18 21	22 24	26 28	30 36	—	—	—	—	—	—	—
Моховое неосушенное; с. Пул- озеро (Мурманская обл.) .	1940/41	—	6 9 12	14 20	25 26	28 28	—	30 32	41 43	—	—	—	—
Поддужемское моховое, не- осушенное (близ г. Кемь)	1940/41	—	—	—	19 20	20 21 21	—	21	—	—	28	—	—
Агвен-Суо (КФССР, к Ю от с. Сямозеро)	1940/41	—	13 17	23 26	26 27	30	—	30 33 36	—	—	—	—	—
Мшинское моховое, неосу- шенное (Лен. обл. у ж.-д. ст. Мшинская)	—	—	13 17	—	—	—	21 22	22	—	22	20	—	—

По южной части БССР имеются сведения о глубинах промерзания и о времени оттаивания по двум осушенным болотам (табл. 121).

Таблица 121

Глубины промерзания и время оттаивания болот БССР

Название болота	Год наблю- дений	Максимальная глубина про- мерзания, см	Дата пол- ного оттаи- вания
Загальское (опытный участок) . .	1933	42	24/V
	1934	45	20/IV
Погонное (опытный участок) . .	1933	35	1—10/IV
	1934	34	

* За один год наблюдений.

Оказалось, что глубина промерзания интенсивно осушенных травяных болот БССР больше, чем неосушенных моховых на севере СССР.

Глубины промерзания осушенного дренажем торфяника, на опытном поле Тома в Эстонии¹, составили (табл. 122).

Таблица 122

Глубины промерзания осушенного торфяника на опытном поле Тома в ЭССР (в см)

Год	Декабрь		Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь
	1	16	1	16	1	16	1	16	1	16	1	16	1
1926/27	1	6	11	17	22	25	24	27	22	25	26	13	—
1927/28	4	8	15	—	15	13	12	12	13	12	—	—	—
1928/29	—	2	10	17	26	40	45	51	52	43	46	33	33

Промерзание на глубину 10 см здесь происходило в конце декабря; наибольшая глубина промерзания осушенного болота оказалась значительно большей (52 см), чем неосушенных болот Ленинградской области.

Приведенный материал непосредственных наблюдений глубин промерзания болот дает возможность высказать следующие (в дальнейшем изложении подтверждающиеся) положения:

1. Осушенные болота (Загальское, Погонное, Тома, Вильгортское) промерзают значительно глубже, чем неосушенные моховые болота на севере.

2. Глубина и сроки промерзания болот очень сильно различаются по годам, что в основном зависит от высоты снежного покрова и температуры воздуха.

3. На глубину промерзания болот должен оказывать большое влияние характер водного питания: грунтовое питание задерживает или вовсе устраняет замерзание болота; весеннее затопление болота речной водою ускоряет его оттаивание.

Косвенные определения промерзания и оттаивания болот

Взамен непосредственных наблюдений глубин промерзания болот по нескольким пунктам имеются данные регулярных наблюдений температур торфяного грунта глубинными термометрами. Принимая дату снижения температуры торфозалежи до $-0^{\circ},1$ за день замерзания торфа на соответствующей глубине, а дату поднятия температуры до $+0^{\circ},1$ — за день оттаивания, получаем следую-

¹ Rinne. Ueber die Tiefe der Eisbildung und das Auftauen der Eises im Niederungsmoor.

щие глубины и сроки промерзания по трем болотам со сравнительно длительными наблюдениями (табл. 123—125).

Таблица 123

Сроки замерзания и оттаивания Раменского болота
(по температурным наблюдениям)

Год	Замерзание на глубине		Оттаивание на глубине		Продолжительность ледового периода (в сутках) на глубине	
	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 замерзло	21/III	—	148	0
1913/14	24/XII	»	5/III	—	71	0
1914/15	2/XI	Записи нет	10/IV	—	159	—
1915/16	28/XI	4/III	29/III	2/IV	121	32
1916/17	7/XII	18/II	20/III	14/IV	102	57
Среднее	20/XI	—	28/III	6/IV	126	67

Примечание. Глубины 50 см промерзание не достигало.

Таблица 124

Сроки замерзания и оттаивания неосушенного Оршинского сфагнового болота
(по температурным наблюдениям)

Год	Замерзание на глубине		Оттаивание на глубине		Продолжительность ледового периода (в сутках) на глубине	
	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	—	—	—
1914/15	26/XI	»	20/IV	—	145	—
1915/16	29/XI	»	5/IV	—	128	—
1916/17	17/XI	»	22/III	—	125	—
Среднее	7/XII	—	25/III	—	108	—

Примечание. При подсчете среднего срока замерзания исключен 1913/14 г., как почти не имевший промерзания на глубине 10 см.

Оказалось, что сфагновое Оршинское болото, находящееся севернее Раменского болота переходного типа, замерзло позднее по-

Сроки замерзания и оттаивания осушенного Марьинского низинного болота
(по температурным наблюдениям)

Год	Замерзание на глубине			Оттаивание на глубине			Продолжительность ледового периода (в сутках) на глубине		Наибольшая глубина промерзания, см
	20 см	30 см	40 см	20 см	30 см	40 см	20 см	30 см	
1931/32	30/XII	11/I	10/II	7/IV	7/IV	7/IV	98	86	45
1932/33	9/I	14/I	20/I	16/III	16/III	15/III	67	62	48
1933/34	по 1/XII	10/XII	Не замерзло	10/III	10/III	—	100	90	35
1934/35	8/XII	30/XII	»	23/III	11/III	—	105	71	37
1936/37	14/I	16/I	18/I	ок. 8/III	ок. 9/III	9/III	54	53	ок. 55
Среднее	23/XII	4/I	—	19/III	17/III	—	85	73	44

следнего на 17 суток, промерзло на меньшую глубину, а оттаивало одновременно.

Из рассмотренных данных о промерзании Раменского (Московская обл.), Оршинского (Калининская обл.) и Марьинского (БССР) болот можно вывести два существенных и основных положения:

1. Интенсивно осушенное травяное (низинное) болото в БССР промерзло на значительно большую глубину, чем моховое (сфагновое) и переходное неосушенное¹ болота района Москва — Калинин. Следовательно, температурные наблюдения подтвердили результат непосредственных наблюдений: интенсивно осушенные торфяники промерзают глубже неосушенных. Этот вывод вполне согласуется со старым мнением торфяных работников, что затопление торфоразработок водою на зиму уменьшает глубину промерзания их и ускоряет весеннее оттаивание торфяной залежи.

2. Промерзание болот в глубину идет постепенно, требуя, например, для увеличения глубины промерзания с 20 до 30 см время в 12 суток; оттаивание же болот происходит почти одновременно на всю глубину промерзания.

Влияние микрорельефа на промерзание болот

Материалы по влиянию микрорельефа на промерзание болот дают наблюдения, проведенные в 1934 г. на Назиевском болоте (южнее Ладожского озера) Институтом торфяной промышленности. Оказалось, что бугры (кочки) промерзают раньше и глубже, чем понижения между ними, как это видно из данных табл. 126 и 127.

¹ По Оршинскому и Раменскому болотам имеются весьма редкие канавы в расстоянии 1 км одна от другой.

Глубины промерзания Назиевского болота осенью 1934 г. (в см)

Дата наблюдений	Неосушенная площадь		Осушенная площадь		Примечание
	Бугры	Мочажины	Бугры	Мочажины	
6/XII	48	6,7	43,6	7,6	Средняя температура воздуха по декадам декабря: I декада — 7°,5, II декада — 4°,2, III декада — 10°,0.
16/XII	19	7,3	22,3	10,5	
25/XII	19,2	9,6	22,8	10,1	

Таблица 127

Оттаивание Назиевского болота весной 1934 г.
(в % оттаявших точек от общего числа всех пробных точек)

Дата наблюдений	Неосушенная площадь		Осушенная площадь		Примечание
	Бугры	Мочажины	Бугры	Мочажины	
6/V	35	100	45	100	К 6/V в мочажинах мерзлоты уже не было, а в буграх к этому времени оттаяла $\frac{1}{3}$ их площади; вся же площадь бугров протаяла к самому концу мая.
7/V	50	—	—	—	
9/V	57	—	60	—	
14/V	62	—	68	—	
21/V	—	—	75	—	
26/V	64	—	—	—	
27/V	66	—	—	—	
31/V	100	—	—	—	

Запаздывание и меньшая глубина промерзания мочажины по сравнению с буграми (кочками) объясняется тем, что в мочажинах собирается снег, сдуваемый с кочек. Кроме того, торф в мочажинах насыщен водою, а 1 кг замерзающей воды выделяет 80 больших калорий тепла, задерживающих процесс замерзания; кочки же водою не насыщены, лед в них имеет рыхлую, губчатую структуру.

Более быстрое оттаивание мочажины, по сравнению с буграми, объясняется застоем в мочажинах воды, имеющей температуру выше 0°.

Анкетные материалы по замерзанию и оттаиванию болот

По срокам замерзания и оттаивания болот имеется обработанные анкетные материалы добровольных корреспондентов Гидрологического института. Эти анкетные сведения мало надежны по целому ряду причин. Во-первых, число анкет, возвращавшихся заполненными, очень невелико, — всего лишь 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 измерениями, что как раз относится к срокам замерзания и оттаивания болота. Наконец, жизнь болота менее отражается на обиходе населения по сравнению с рекою и озером. Поэтому на приводимые ниже результаты обработки анкет следует смотреть частично как на обывательское представление о времени наступления той или иной фазы состояния болота.

Замерзание болот по анкетным материалам наступало в следующие месяцы и декады (табл. 128).

Таблица 128

Время замерзания болот (по данным анкет)*

Бассейн	1928 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.
Балтийский	Ноябрь (III) — декабрь (III)	Ноябрь (II) — декабрь (II)	Ноябрь (II) — декабрь (II)	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—III)	Ноябрь (II) — декабрь (III)

В 1932 г. замерзание болот по всем бассейнам оказалось наиболее поздним, перейдя местами на январь 1933 г. Замерзание суходолов отмечалось в 50—70% случаев ранее и в 20—10% случаев — одновременно с замерзанием болот.

Во многих пунктах отмечалось временное зимнее оттаивание болот, а в бассейне р. Днепра приводились случаи, когда болота, оттаивая непосредственно после выпадения снега, оставались в незамерзшем состоянии до весны. Оттаивание верхового болота под снегом отмечено даже в Кировске (Хибины) и в бассейне р. Вычегды.

Оттаивание болот по анкетным материалам заканчивалось в следующие месяцы и декады (табл. 129).

Таблица 129

Время оттаивания болот (по данным анкет)*

Бассейн	1929 г.	1930 г.	1931 г.	1932 г.	1933 г.
Балтийский	—	—	—	Апрель (III) — май (III)	Апрель (I) — май (I)
Беломорск.	Май (I и II)	Май (I и II)	Апрель (II) — май (I)	Апрель (III) — май (II)	Май (I—III)
Верхний и Средний Днепр	—	Март (III) — апрель (II)	Апрель (III)	Апрель (II и III)	Март (III) — апрель (II)
Верхняя и Средняя Волга	—	Апрель (II)	Апрель (III)	Апрель (III) — май (II)	Апрель (III) — май (I)

* Римская цифра в скобках — номер декады.

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 — с середины марта до конца апреля; по Верхней и Средней Волге — с начала до конца апреля.

Зависимость промерзания торфяной залежи от температуры воздуха

По закону термодинамики количество тепла, проходящего через тело, имеет следующее математическое выражение:

$$q = \frac{\lambda \cdot \Delta T t}{H}, \quad (1)$$

где: q — число больших калорий, проходящих через 1 м^2 площади тела (пластинки);

λ — теплопроводность тела, выражающая количество калорий, проходящих в 1 час через 1 м^2 площади тела, при толщине тела 1 м и при разнице температур на двух сторонах тела в 1° ;

ΔT — разница температур с двух сторон тела в градусах;

t — продолжительность процесса в часах;

H — толщина тела в метрах.

Промерзание болота, состоящее в замерзании содержащейся в нем воды, происходит вследствие ухода тепла из болота в атмосферу при температуре воздуха ниже 0° . Образующийся слой мерзлоты является тем телом, через которое проходит тепло в атмосферу из нижележащей, незамерзшей части торфозалежи.

При рассмотрении замерзания болота необходимо первоначально учитывать два явления: 1) замерзший слой, через который уходит тепло из болота в атмосферу, непрерывно увеличивается в толщину; 2) замерзание 1 кг воды сопровождается выделением 80 калорий тепла, которые должны уйти в атмосферу через замерзший слой.

Рассмотрим тепловой баланс торфяного слоя за бесконечно малый отрезок времени dt , при увеличении имеющейся глубины промерзания $x \text{ м}$ на бесконечно малую дополнительную величину dx . Содержание воды в 1 м^3 замерзающей торфозалежи принимаем в $S \text{ кг}$ (например, 900 кг в 1 м^3 залежи), а процесс рассматриваем на площади в 1 м^2 .

За бесконечно малый промежуток времени dt , при промерзании болота на величину dx , с площади 1 м^2 выделится скрытой теплоты

$$80 \cdot S x \text{ б. кал.} \quad (2)$$

Например, при $S = 900 \text{ кг}$ и $dx = 1 \text{ мм}$, выделится теплоты $80 \cdot 900 \cdot 0,001 = 72 \text{ б. кал.}$ Объем замерзшей торфозалежи соответственно 1 м^2 поверхности болота: $1 \cdot 0,001 = 0,001 \text{ м}^3$. В этом объеме залежи содержится воды: $900 \cdot 0,001 = 0,9 \text{ кг}$. При замерзании выделится скрытой теплоты: $80 \cdot 0,9 = 72 \text{ б. кал.}$

Выделяющаяся скрытая теплота уходит в атмосферу через имею-

ающийся уже к рассматриваемому моменту времени промерзший слой толщиной x м. За время dt , согласно уравнению (1), уйдет:

$$\frac{\lambda \cdot \Delta T}{x} \cdot dt. \quad (3)$$

Если температура у поверхности болота равна температуре воздуха, а температура у нижней поверхности замерзшего слоя болота на глубине x равна 0° , то разность температур ΔT равна просто температуре воздуха T .

Промерзание болота вглубь может идти постольку, поскольку выделяющаяся скрытая теплота уходит в атмосферу; поэтому выражения (2) и (3) равны и совместно образуют простейшее дифференциальное уравнение:

$$80 \cdot S dx = \frac{\lambda \cdot T}{x} \cdot dt. \quad (4)$$

За начало координат принимаем поверхность болота; направление вниз принимается положительным.

Составленное уравнение решается для x в пределах от поверхности болота ($x = 0$) до глубины промерзания ($x = H$) и для t от начала периода промерзания ($t = 0$) до времени достижения глубины промерзания H ($t = t_H$ или, для упрощения, $t = t$).

$$\int_0^H x dx = \frac{\lambda T}{80 \cdot S} \int_0^t dt, \\ \frac{H^2}{2} = \frac{\lambda T}{80 \cdot S} t. \quad (5)$$

Из уравнения (5) можно вычислять при упрощенных условиях (отсутствие снежного покрова и теплоприхода из нижележащих слоев торфозалежи):

а) Время в часах, в течение которого торфяник промерзнет на глубину H :

$$t = \frac{80 \cdot S}{2 \lambda T} \cdot H^2. \quad (6)$$

Например, при $H = 0,2$ м, $S = 900$ кг, $T = 10^\circ$, $\lambda = 1,2$ кал/час./м³, получаем $t = 120$ час.

б) Глубину в метрах, на которую промерзнет торфозалежь:

$$H = \sqrt{\frac{2 \lambda T}{80 \cdot S} t}. \quad (7)$$

Например, при $\lambda = 1,2$ кал/час./м³, $T = 10^\circ$, $t = 100$ час., $S = 900$ кг, получаем:

$$H = \sqrt{0,033} = 0,18 \text{ м.}$$

Уравнения (5, 6 и 7) были выведены Тамурой (Tamura) для образования льда на водоемах; затем они были экспериментально проверены Барнесом и переработаны применительно к результатам опытов над образованием льда на водоемах в следующий вид:

$$t = \frac{80 \cdot S H}{2 \lambda T} \left(1 + \frac{H}{2} \right), \quad (8)$$

где t — продолжительность периода промерзания в сек.;
 H — слой образовавшегося льда в см;
 S — плотность льда, равная 0,0917;
 80 — скрытая теплота плавления льда;
 λ — теплопроводность льда, равная 0,0057 м. кал. на 1° разницы в температуре при толще льда 1 см и площади 1 см²;
 T — разница в градусах между нижней поверхностью ледяного покрова (0°) и температурой воздуха.
 Решая по Барнесу рассмотренный для уравнения (6) пример, получаем необходимое время:

$$t = \frac{80 \cdot 0,92 \cdot 20}{0,0057 \cdot 10} \left(1 + \frac{20}{2}\right) = 284\,070 \text{ сек.} = 79 \text{ час.}$$

Влияние снежного покрова на глубину промерзания болота

Снежный покров совершенно нарушает глубину промерзания болота, так как выделяющаяся при замерзании воды скрытая теплота должна пройти в атмосферу не только через промерзший слой болота, но и через всю толщу снега. Поэтому решение балансового уравнения (4) следует вести в условном предположении, что над действительно промерзшим слоем торфа с водой

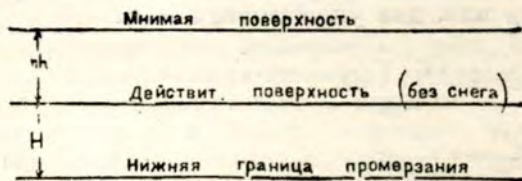


Рис. 21. Схема.

лежит еще мнимый мерзлый слой торфа, эквивалентный по теплопередаче действительному слою снега; толщина этого эквивалентного слоя должна приниматься в h раз большей толщины снега, так как теплопроводность торфа с водой больше теплопроводности снега¹.

Поэтому, при решении уравнения (4) интегрирование для x должно вестись в пределах от мнимой поверхности болота до нижней границы промерзания болота (рис. 21), т. е. в пределах от 0 до nh (считая за начало координат мнимую поверхность и положительное направление — вниз), а интегрирование для t — от начала периода промерзания до дня исследования (t), плюс время, потребное на промерзание мнимой толщи торфа (nh):

$$\int_0^{nh-H} x dx = \frac{\lambda T}{80 \cdot S} \int_0^{t+t_h} dt,$$

или

$$\frac{(nh - H)}{2} = \frac{\lambda T}{80 \cdot S} (t + t_h);$$

отсюда

$$H = \sqrt{\frac{2 \lambda T (t + t_h)}{80 \cdot S}} - nh. \quad (9)$$

¹ По предложению, изложенному в книге «Общее мерзлотоведение», 1940 г., под авторством Сумгина, Качурина, Толстухина, Тумеля.

Величина t_h вычисляется из уравнения (6):

$$t_h = \frac{80 \cdot S}{2 \lambda T^3} \cdot (nh)^2. \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10) время t — в часах, высота снега h — в м, $\lambda = 1,2$ кал/час./м³. Так как процесс замерзания болота происходит при высотах снега, увеличивающихся или вообще меняющихся со дня начала периода промерзания до дня определяемого промерзания, то в уравнении (7) следует подставлять средневзвешенную высоту снега за весь рассматриваемый период промерзания (а не абсолютную высоту снега ко дню вычисления промерзания).

Влияние грунтового теплоприхода на промерзание болота

Температура воды и грунта под промерзшим слоем торфяника выше 0°; следовательно, происходит некоторое передвижение теплоты из нижних слоев грунта вверх, к промерзшему слою болота, замедляющее нарастание слоя мерзлоты (рис. 22).

Количество тепла, поступающего снизу, выражается по закону термодинамики:

$$K \cdot \Theta \cdot t, \quad (11)$$

где: K — теплопроводность незамерзшего грунта (торфа) с водой; Θ — внутригрунтовый температурный градиент на расстоянии 1 м. Так как температура у нижней поверхности промерзшего слоя около 0°, то Θ равно температуре грунта с водой на расстоянии 1 м ниже нижней плоскости промерзания болота;

t — продолжительность периода промерзания в часах.

Поступающее снизу тепло вызывает оттаивание нижней поверхности промерзания или, вернее, задерживает нарастание глубины промерзания. Оттаивание слоя торфа, насыщенного водой, толщиной d , поглощает на площади 1 м², согласно уравнению (2), следующее количество тепла:

$$d \cdot 80 \cdot S.$$

Выражения (11) и (2) балансируются:

$$K \cdot \Theta \cdot t = d \cdot 80 \cdot S.$$

Отсюда, толщина оттаивания нижней поверхности мерзлого слоя составит:

$$d = \frac{K \cdot \Theta \cdot t}{80 \cdot S}, \quad (12)$$



Рис. 22.

где: $\bar{a}$ — толщина оттаивания нижней поверхности мерзлого слоя в метрах;

Θ — температура грунта с водой в расстоянии 1 м от горизонта промерзания; в болоте Оршинский Мох за 1909—1917 гг. наименьшее $\Theta = 2^{\circ},0$, по Раменскому болоту $\Theta = 1^{\circ},5$;

K — теплопроводность; для торфа, насыщенного водою, предположительно $K = 0,4$ кал./час. m^3 ;

S — содержание воды в 1 m^3 залежи; примерно $S = 900$ кг/ m^3 .

Значение d должно вводиться в формулу (9) как поправка, уменьшающая глубину промерзания, после чего уравнение глубины промерзания болота получает уточненный вид:

$$H = \sqrt{\frac{2 \lambda T (t + t_h)}{80 \cdot S}} - nh - d. \quad (13)$$

В случаях питания болота за счет притока грунтовой воды выражаемая формула закономерности промерзания болота нарушается; в местах выхода грунтовой воды болото не промерзает в течение всей зимы.

Значения теплопроводности λ и K . В справочниках теплопроводность приводится обычно в м. калориях в секунду через тело в 1 см толщины и в 1 cm^2 площади. Переход от г. кал/ cm^2 . сек. к кг. кал/ m^3 . час производится следующими арифметическими действиями:

$$\text{кг. кал.} = \frac{(\text{г. кал.}) \cdot 10\,000 \cdot 3600}{1000 \cdot 100} = 360 \text{ г. кал.},$$

т. е. производится умножение на 360.

В справочниках указываются следующие величины теплопроводности, выраженные в кг. кал/ m^3 . час:

Вода	0,5	Сосна, поперек волокон . .	0,032
Лед	1,5	Деревянные опилки	0,055

Теплопроводность замерзшего торфа с водой Институт мерзлотоведения Академии Наук предлагает принимать за $\lambda = 1,2$.

Теплопроводность снега сильно варьирует в зависимости от его плотности. По формуле Абельса:

$$\lambda = 0,0067 D^2,$$

где D — плотность снега,

λ — теплопроводность в г. кал./ cm^2 . сек.

Плотность снега за период промерзания болота находится в пределах 0,15 — 0,35; отсюда теплопроводность снега вычисляется в пределах 0,00015 — 0,00082 г. кал./ cm^2 . сек., что соответствует 0,05 — 0,29 кг. кал./ m^3 . час. Институт мерзлотоведения предлагает принимать $\lambda = 0,3$ кг. кал./ m^3 . час.

Теплопроводность незамерзшего торфа с водой равна предположительно 0,4 кг. кал.

Преобразования формулы (13). Подстановка в подкоренное выражение формулы (13) значения

$$t = \frac{80 \cdot S}{2 \cdot \lambda \cdot T} \cdot (nh)^2$$

из уравнения (10) дает после преобразований:

$$H = \sqrt{\frac{2 \lambda T}{80 \cdot S} + (nh)^2} - nh - d. \quad (14)$$

Это выражение содержит t_h в скрытом виде, и оно проще для арифметических вычислений, чем уравнение (13).

Для гидролога, инженера-мелиоратора и инженера-торфяника продолжительность промерзания болота удобнее выражать в сутках, а не в часах. Теплопроводность K в переводе на сутки равна $1,2 \times 24 = 28,8$ б. кал./м², при толщине тела 1 м и при разнице температур 1°.

Произведение суточной температуры воздуха T на время t в сутках равно сумме средних суточных температур за период промерзания.

Коэффициент n на основании многочисленных пробных вычислений принимается равным 2, т. е. принимается, что теплопроводность замерзшего торфа с водой в два раза больше теплопроводности снега. Принятие $n = 4$, как предлагается в работе Института мерзлотоведения, приводит к противоречивым результатам в сопоставлении с данными фактически наблюдаемых глубин промерзания.

После подстановки указанных величин в уравнение (14) получается окончательно:

$$H = \sqrt{\frac{0,72}{S} \cdot \Sigma T + (2h)^2} - 2h - d, \quad (15)$$

где: H — глубина промерзания болота к рассматриваемому дню в метрах. Определение ее в натуре производится с большими неточностями, и, кроме того, она различна на разной поверхности, — в кочке и в мочажине;

S — содержание воды в кг, отнесенное к 1 м³ замерзшей торфозалежки. Моховой торф, нормально насыщенный водой, содержит в 1 м³ залежки около 900 кг воды и 100 кг сухого вещества; часто воды содержится до 930 кг. Для осушенных моховых и травяных болот $S = 850$ кг, для культивированных болот $S = 750-800$ кг;

d — поправка в метрах на уменьшение глубины промерзания вследствие грунтового теплоприхода за весь период промерзания. Величина ее зависит от теплопроводности незамерзшего торфа с водой, от температурного градиента в залежки под замерзшим слоем торфа, от продолжительности периода промерзания. Так как температурный градиент в торфозалежки обычно почти неизвестен, то

для получения численного значения d необходимо прибегнуть к излагаемому ниже косвенному методу;

ΣT — отрицательная сумма средних суточных температур воздуха за период промерзания. При исчислении суммы температур учитываются и дни с положительными температурами, которые вводятся со знаком плюс;

h — средне-взвешенная высота снега в метрах за рассматриваемый период промерзания болота. Если определения высоты снега производились через одинаковые промежутки времени, например, 10-го, 20-го, 30-го числа каждого месяца, начиная обязательно со дня наступления устойчивых отрицательных температур воздуха, то средне-взвешенное получается как среднее арифметическое. Вообще же при неравных промежутках времени:

$$h = \frac{h_1 t_1 + h_2 t_2 + \dots + h_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

Здесь h_1, h_2 — измеренные высоты снега в м, t_1, t_2 — продолжительность времени наличия этих высот.

Метод вычисления поправки d к глубине промерзания болота. Имея данные наблюдений над глубинами промерзания болот, т. е. непосредственно величины H формулы (15), и принимая указанные выше численные значения остальных членов формулы, можно для каждого случая измерения H вычислить соответствовавшую ему поправку d :

$$d = \sqrt{\frac{0,72}{S} \Sigma T + (2h)^2} - 2h - H. \quad (16)$$

Вычисленные таким образом значения d для разных болот и районов были нанесены на графики связи с суммой суточных температур (ΣT) за период промерзания (рис. 23). График показывает большое рассеивание точек, но все же подтверждает возможное существование такой связи.

Необходимо подчеркнуть, что измерение глубины промерзания болота в натуре производится с большими погрешностями, что глубина промерзания различна на кочке, в мочажине, на середине и у края болота. Поэтому резкие отклонения вычисленных глубин от измеренных неизбежны, причем вычисленные глубины во многих случаях будут ближе к действительным, чем измеренные.

Полученные по графику связи осредненные значения d в зависимости от ΣT представлены в табл. 130.

Значения d вычислены для неосушенных и слабо осушенных болот, сфагнового и переходного типа, слабо облесенных и чистых. Формула (15) в сочетании с табл. 130 получает, таким образом, рабочее значение для вычисления глубин промерзания.

П р и м е р. Вычислить глубину промерзания болота в Северо-западном районе к 9 февраля при условиях: отрицательные температуры воздуха установились с 1 ноября; сумма средних суточных

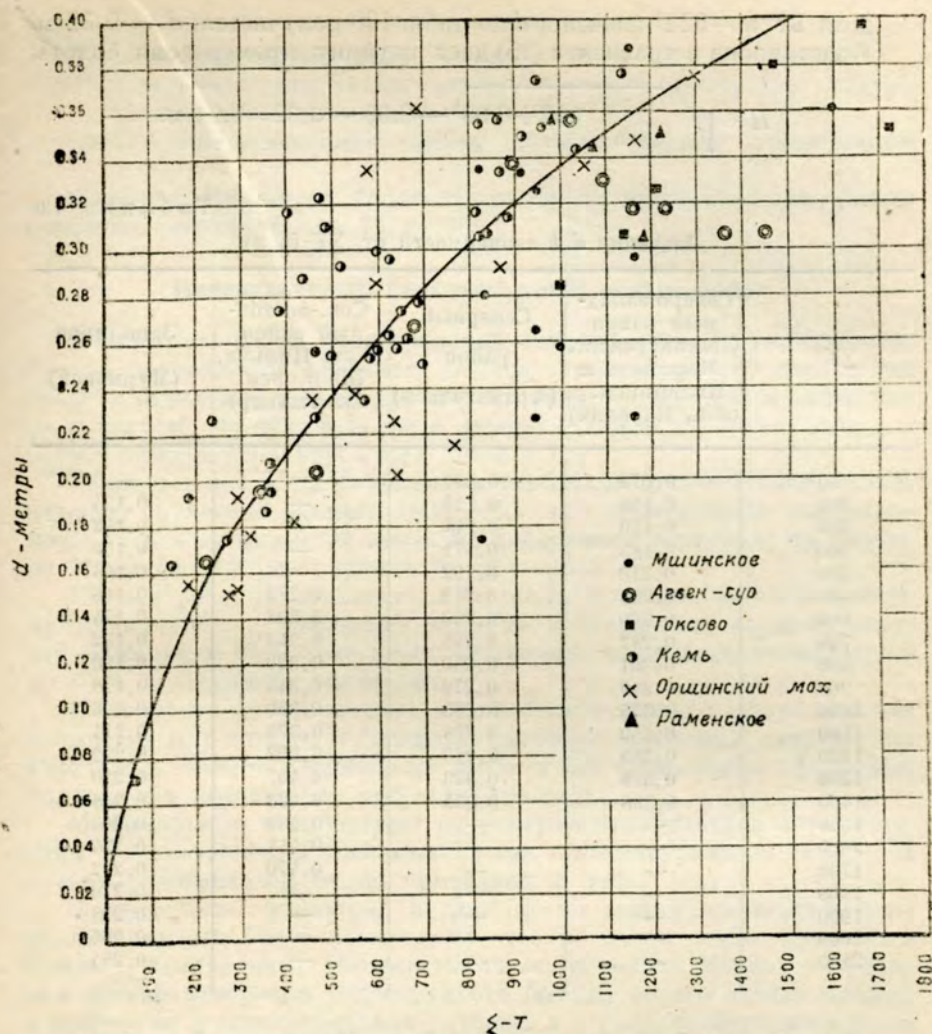


Рис. 23. График связи d с суммой средних суточных температур (ΣT).

температур воздуха за период 1/XI — 8/II равна — 922°. Снежный покров установился с 19/XI и имел высоту: 19/XI — 0,01 м, 1/XII — 0,10 м, 1/I — 0,2 м, 1/II — 0,3 м и 9/II — 0,3 м. Увлажненность болота осенью была нормальная; следовательно, $S = 900$ кг воды в 1 м^3 торфозалежки. Средне-взвешенная высота снега вычисляется:

$$h = \frac{\left(\frac{0,01+0,10}{2} \cdot 12 + \frac{0,10+0,20}{2} \cdot 31 + \frac{0,20+0,30}{2} \cdot 31 + 0,3 \cdot 9 \right)}{(12+31+31+9)} = 0,19 \text{ м},$$

Для ΣT в -922° значение d по табл. 130 получается: $d = 0,32$ м. Подстановка в уравнение (15) дает глубину промерзания болота:

$$H = \sqrt{\frac{0,72}{100} 922 + 0,38^2} - 0,38 - 0,32 = 0,24 \text{ м.}$$

Таблица 130

Значения d в зависимости от ΣT (в м)

ΣT	Северо-западный район (Ленинградск., Московск. и Калининск. обл., Карелия)	Северный район (Архангельск)	Сев.-восточный район (Усть-Цильма, Шенкурск, Сыктывкар)	Заполярье (Мурманск)
50°	0,070	0,080	—	—
100	0,104	0,115	—	0,134
200	0,150	0,148	—	0,142
300	0,185	0,171	—	0,150
400	0,210	0,192	—	0,158
500	0,235	0,212	0,222	0,166
600	0,260	0,230	0,298	0,174
700	0,282	0,245	0,313	0,182
800	0,301	0,260	0,329	0,190
900	0,319	0,272	0,345	0,198
1000	0,335	0,285	0,360	0,206
1100	0,350	0,298	0,376	0,214
1200	0,365	0,310	0,392	0,222
1300	0,378	0,323	0,407	0,230
1400	0,388	0,335	0,423	0,238
1500	—	—	0,439	0,246
1600	—	—	0,454	0,254
1700	—	—	0,470	0,262
1800	—	—	—	0,270
1900	—	—	—	0,278
2000	—	—	—	0,286
2100	—	—	—	0,294

Формула глубины промерзания болот Института болотного хозяйства

На основании наблюдений на 7 болотах, в 4—20 точках на каждом, Институтом болотного хозяйства составлено два уравнения для вычисления глубины промерзания болот в условиях БССР [94].

Для осушенных низинных болот, используемых под луговые и полевые культуры:

$$H = 17 + 0,67 (\Sigma T - 75) - h.$$

Для неосушенных или слабо осушенных, заросших лесом или кустарником, низинных и верховых болот:

$$H = 10 + 0,05 (\Sigma T - 75) - h,$$

где:

H — глубина промерзания, в см,

ΣT — отрицательная сумма средних суточных температур воздуха за период промерзания,

h — средне-взвешенная высота снега за период промерзания в см.

Формула Института болотного хозяйства применима при суммах суточных температур от 75 до 700°.

Поверхностный температурный режим болот

В отчете по работе Новгородской опытной станции указывается, что на поверхности торфяного болота температура опускается ниже 0° в отдельные дни на протяжении всего лета, даже в июне, июле и августе; на суходоле же в районе станции за период июнь — август температура не бывает ниже 0°.

Точно так же и на глубинах в торфяном грунте Новгородской станции за летние месяцы 1923 — 27 гг. температура оказалась ниже, чем в суглинистой почве, на следующие величины: на глубине 10 см на 0°,8, на глубине 20 см — на 2°,8.

Все же разница оказывается 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 8-летние наблюдения метеорологических станций на Раменском болоте переходного типа и на Оршинском сфагновом болоте, оба которых не закультивированы.

Минимальные температуры на поверхности болота в летние месяцы в сопоставлении с минимальными температурами за те же дни в метеорологической будке приведены в табл. 131.

Приведенные за каждый летний месяц минимумы температуры 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. 132 приведены показания Раменской и Оршинской метеорологических станций по максимальным температурам на поверхности болот за июнь и июль.

Приведенные величины 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 60°,5 в июле 1914 г. на Раменском болоте может казаться ошибочной, но в тот же день на Оршинском болоте был измерен максимум, равный 50°,0, а в июне 53°, что дает основание верить этим величинам.

Минимальные температуры на поверхности болот

Год	Раменское болото			Оршинское болото		
	Дата	Минимальная температура		Дата	Минимальная температура	
		Поверхность болота	Будка		Поверхность 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	VII	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	V	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	
	9/VIII	-5°,5	-0°,1	8/VIII	-3°,0	+6°,1
1916	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
	12/VIII	-2°,0	+2°,5	12/VIII	-0°,5	+2°,6
1917	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	—	—	—

Максимальные температуры на поверхности болот

Год	Раменское болото			Оршинское болото		
	Дата	Максимальная температура		Дата	Максимальная температура	
		Поверхность болота	Будка		Поверхность болота	Будка
1909	10/VII	35°,0	18°,3	—	—	—
1910	15/VI	40°,0	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	—	—	—

Сопоставив июньские и июльские минимумы и максимумы, получаем следующие амплитуды температур на поверхности болот за период 1910—1917 гг.

	Раменское болото	Оршинское болото
В июне	от -10 до +51°,1	от -4,2 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).

Глубинный температурный режим болот

Глубинные температуры торфяного болота регулярно наблюдались на Редькинской торфяной опытной станции, на Оршинской и Раменской гидрологических станциях и на Рудия-Радовельской болотной опытной станции.

Результаты наблюдений Редькинской станции приведены в работе В. Г. Горячкина [31] в виде сводного графика температур на глубинах 0,4, 0,8 и 1,6 м. Согласно этому графику за период 1923—1926 гг., лишь в зиму 1924/25 г. температура на глубине 40 см приближалась к 0°, в остальные же три года была заметно выше 0°; следовательно, промерзание не достигало глубины 40 см.

На Раменском и Оршинском болотах наблюдения над температурой велись на глубинах 10, 25, 50, 100 и 200 см с 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 время перехода от нулевой температуры к положительной (условно — оттаивание) для Раменского болота переходного типа указаны в табл. 123 (см. стр. 196).

На глубине 50 см температура ни разу не опускалась до 0°.

За весь 8-летний период наблюдений температура Раменского болота находилась в следующих крайних пределах (табл. 133).

Таблица 133

Крайние температуры на разных глубинах Раменского болота

Глубина (в см.)	Минимум		Максимум		Амплитуда
	Температура	Дата	Температура	Дата	
10	-4°,6	1/III 1911	+20°,4	3/VII 1911	25°,0
25	-2°,0	22/III 1911	+16°,6	4/VII 1911	18°,6
50	0°	30,31/III 1911	+14°,4	6/VIII 1910	14°,4
100	+1°,3	21/IV—5/VI 1911	+10°,7	13—20/VIII 1910	9°,4
200	+3°,4	17—25/VI 1911	+7°,7	11,13/IX 1913 17,20/X 1910	4°,3

Сроки замерзания и оттаивания Оршинского сфагнового болота приведены в табл. 124 (см. стр. 196).

За весь 8-летний период наблюдений температура на Оршинском болоте находилась в следующих крайних пределах (табл. 134).

Приведенные таблицы температур торфа за 1909/10 — 1916/17 гг. на разных глубинах Раменского (переходное) и Оршинского (сфагнового) болот весьма показательны. На основании этих данных представляется возможность сделать следующие выводы и распространить их на Московскую, Калининскую и прилегающие области:

1. Среднее время перехода температуры через 0° к отрицательным температурам (замерзание) на глубине 10 см от поверхности

Крайние температуры на разных глубинах Оршинского болота

Глубина (в см)	Минимум		Максимум		Ампли- туда
	Темпе- ратура	Дата	Темпе- ратура	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

оказалось на переходном болоте 20 ноября, а на сфагновом — 20 декабря. Сфагновое болото замерзло на 30 суток позже, чем переходное.

2. Замерзание на глубине 25 см на переходном болоте из 8 лет наблюдений отмечалось 5 раз, а на сфагновом болоте — всего один раз. Промерзания до глубины 50 см на обоих болотах не происходило.

3. Средний срок перехода температуры через 0° к положительным величинам (начало оттаивания) оказался: на переходном болоте — 28 марта, а на сфагновом — 25 марта. Сфагновое болото начало оттаивать на 3 суток ранее, чем переходное.

4. Продолжительность температуры ниже 0° на глубине 10 см на переходном болоте составляла 126 суток, а на сфагновом — 95 суток. Ледовый период на сфагновом болоте короче на 31 день, чем на переходном.

5. Минимальные температуры за все 8 лет наблюдений на различных глубинах оказались следующими:

	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 на различных глубинах получились следующими:

	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 на различных глубинах оказалась следующей:

	10 см	25 см	50 см	100 см	200 см
На переходном болоте	25°,0	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, чем переходное.

На Назиевском болоте в 1934 г. были зафиксированы следующие средние месячные температуры на осушенной и неосушенной частях болота, под буграми и под мочажинами (табл. 135).

Таблица 135

Средние месячные температуры на различных глубинах болота Назия

Месяц	Состояние болота	Глубина 0,7 м	Глубина 1,0 м
Апрель	Не осушено		
	Бугры	0°,6	1°,7
	Мочажины	1°,4	2°,3
	Осушено		
Май	Бугры	0°,9	1°,4
	Мочажины	1°,9	2°,5
	Не осушено		
	Бугры	2°,3	1°,9
	Мочажины	6°,9	4°,4
	Осушено		
	Бугры	4°,2	3°,2
	Мочажины	8°,0	4°,7

Примечание. В апреле температура на глубине 0,7 м была ниже, а в мае — выше, чем на глубине 1,0 м. Следовательно, торфяная залежь прогревалась с поверхности очень быстро. Температура под мочажинами в апреле и мае выше, чем под буграми.

Для условий западной части СССР по температурному режиму болот имеются наблюдения 1924—28 гг. на Рудня-Радовельской болотной опытной станции (УССР). Средние месячные температуры торфа на Рудня-Радовельской станции на разных глубинах приведены в табл. 136.

Средняя месячная температура торфа, как это видно из таблицы, только на глубине 10 см бывала ниже 0°. На глубине 20 см в зимние месяцы температура иногда снижалась ниже 0°; на глубине же 40 см даже при больших морозах температура была всегда выше 0°.

Температурный режим болот в связи с растительным покровом изучался в 1922 и 1923 гг. Т. Л. Ефимовой на Ольгинском сфагновом болоте (под Ленинградом). На поверхности болота и на глубине до 10 см разницы температуры в разных растительных группировках проследить не удалось, так как при наблюдениях температура у поверхности сильно менялась от внешних обстоятельств (облачность); сравнимый материал получался только с глубины 25 см.

На глубине 25 и 50 см в 1923 г. наибольшее нагревание достигло к следующим срокам (табл. 137).

Остывание за период с 31/VIII до 6/XI 1922 г. произошло под различными растительными группировками на следующее число градусов (табл. 138).

Средние месячные температуры на различных глубинах Рудня-Радовельского болота

Месяц Глубина (в см)	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год	Число лет наблюдений
10	-1°	-1°,3	-0°,3	+5°,5	+12°,3	16°,8	19°,6	16°,5	13°,2	7°,3	+4°,8	+3°,8	+8°,1	3
20	+0,6	+0,1	+0,3	+4,5	11,2	16,0	18,5	13,1	13,6	8,6	6,2	1,2	+7,8	3
40	+2,1	+1,7	+1,3	+1,4	9,3	12,6	15,0	15,0	13,5	10,2	7,8	3,6	+7,8	2
80	—	—	—	—	—	8,4	10,5	11,3	11,3	10,1	—	—	—	1
t° воздуха	-6,5	-5,0	-1,1	+7,8	14,1	16,2	18,0	16,0	12,7	6,4	+3,2	-4,8	+6,3	5

Таблица 137

Сроки наибольшего нагревания болота

Растительность	На глубине	
	25 см	50 см
Сфагнум с шейхцерией	8—9/VII	1/VIII
» » Menyanthes	14/VII	14/VII
» » сосной	14/VII	1/VIII

Таблица 138

Остывание болота под различной растительностью

Растительность	На глубине		
	25 см	50 см	100 см
Сфагнум с Menyanthes . . .	12°,9	9°,0	3°,6
» » шейхцерией . . .	12,5	8,8	2,2
» » сосной	12,0	7,7	2,6

Приведенных наблюдений по влиянию растительного покрова на температурный режим болот безусловно недостаточно для получения обобщенного заключения.

Выводы

1. Температурный режим торфяных болот отличается, в худшую сторону, по сравнению с минеральными грунтами в отношении условий эксплуатации торфяного и минерального грунтов.

2. Температура на поверхности культивируемого и не культивируемого торфяника имеет в течение вегетационного периода чрезвычайно большую амплитуду колебаний — от -10 до 60° (Раменское болото, за 8 лет наблюдений).

3. Заморозки у поверхности болота наблюдаются во все месяцы вегетационного периода (Новгородское, Раменское, Оршинское болота).

4. Замерзание торфяного грунта на зиму происходит приблизительно в одно время с замерзанием минерального грунта; разморозание (оттаивание) торфяного болота наблюдается позднее минерального грунта.

5. На сфагновых болотах с выраженным микрорельефом (мочажинами, буграми, гребнями и кочками) время разморозания весьма различно; в мочажинах разморозание наблюдается значительно ранее, а именно — в конце апреля, чем в буграх, где разморозание продолжается до III декады мая (Ленинградская и Московская области); оттаивание происходит одновременно сверху и снизу слоя мерзлоты.

6. Глубина промерзания болот редко достигает 40 см (Ленинградская область, Московская область, БССР, Карелия); болота осушенные промерзают глубже и оттаивают позже, чем неосушенные. Более глубокое промерзание осушенных болот (Архангельск, Ленинградская область) представляет еще непонятное явление, так как воздух, заменяющий в осушенных болотах воду, обладает меньшей теплопроводностью и должен бы, поэтому, лучше сохранять в торфе теплоту; причина этого явления, возможно, заключается в том, что запас тепла в воздухе гораздо меньший, чем в воде.

7. На глубине 100 см от поверхности температура торфа $+10^{\circ}$ является почти верхним пределом: на Украине — для средней месячной, а в Московской области — для средней суточной температуры. Разовая нулевая температура не спускается глубже 50 см (Раменское болото), а как правило, не спускается и до 40 см.

ГЛАВА XII

СВОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Долголетние суждения о болоте, как о гидрологическом факторе, влияющем на питание рек, а также о гидрологических последствиях массового осушения болот — не имели за собою материалов непосредственных наблюдений и развивались логическими выводами из основных положений о водных свойствах торфяного грунта; самые же эти водные свойства торфяных грунтов также не были известны и принимались разными авторами различными.

2. К настоящему времени физические и водные свойства торфяного грунта в большей мере являются изученными: влагоемкость и фильтрационные свойства торфа, а также испарение выражаются сейчас достаточно точно цифровыми величинами, которые дают возможность более или менее надежно вывести исходные положения для логических построений о болоте, как о гидрологическом объекте. Свойства торфа изучались в СССР Экспериментальным торфяным институтом (Москва), двумя торфяными опытными станциями (Редькино и Решетниково), Институтом болотного хозяйства (Минск), двумя институтами мелиорации (Москва и Ленинград) и Гидрологическим институтом (Ленинград).

3. Однако перенесение свойств торфа на природный комплекс, именуемый болотом, не может надежно разрешить вопросов гидрологического режима болота, а по некоторым свойствам болот и совершенно не может дать ответа.

4. Гидрологические свойства непосредственно самого болота, объекта природы, изучены и по настоящее время совершенно недостаточно. В СССР нет ни одного болота, на котором велись бы длительные и, главное, надежные по точности наблюдения над водным режимом непосредственно болота: содержание воды в болоте, уровень грунтовой воды, сток, испарение, замерзание и оттаивание, притом параллельно с наблюдениями элементов погоды. Именно в такой болотной гидрологической станции имеется сейчас насущная необходимость.

5. Болото является совершенно специфичным образованием на земной поверхности. Сфагновое болото в насыщенном состоянии содержит 92—94% воды, травяное болото — 89—91%. Посредством интенсивного осушения содержание воды может быть снижено в крайних случаях до 87—89% в сфагновых торфяных и до 85—87% — в травяных болотах. Дальнейшее снижение влаги в торфянике может происходить лишь под действием испарения. Поэтому болото может рассматриваться или как водоем, вода из которого не

может быть удалена, или как суша, содержащая около 90% воды.

6. Наибольшая глубина торфа в пределах СССР зафиксирована равной 12,5 м в Панфиловском верховом (сфагновом) болоте, в бассейне р. Поль (приток р. Оки). Два болота зафиксировано с глубиной торфа 11,0 м, а именно: низинные болота Душка, в бассейне р. Гусь (приток р. Оки), низинное болото Горелое, в бассейне р. Лосьмы (приток р. Великой). Примечательным является наличие сфагнового болота, с глубиной торфа 9,0 м, в западном Закавказье, близ г. Зугдиды.

7. Растущие на сфагновых болотах сосна и вся полукустарниковая растительность имеют ясно выраженный ксерофитный характер (малое потребление воды), отмеченный ботаниками и болотоведами и выражающийся у сосны укороченным вегетационным периодом, а у полукустарников — приспособлениями для уменьшения испарения через листву, свойственными растениям засушливых условий местообитания.

8. Растительность травяных болот совершенно иная; это сильно испаряющие злаки (в том числе тростники), осоки и разнотравие, а также береза, ольха и ива. Поэтому гидрологический режим сфагновых и травяных болот различен и должен рассматриваться в отдельности; совместное рассмотрение этих болот, различных по своим свойствам, является одной из причин разноречий в суждениях о свойствах болот.

9. Многочисленные опыты по испарению с торфяных монолитов, помещавшихся в приборы и лизиметры, ясно показывают, что больше всего испаряет культурная травяная растительность, меньше — посевы зерновых, еще меньше — сфагновая поверхность; меньше всего испаряют поверхности парового поля и песка. При этом существенно важно то, что испарение с культивируемых площадей больше, чем с поверхности сфагнового болота и с поверхности свободной воды.

10. На основе наблюдений в испарителях со сменными монолитами, в лизиметрах, а также путем сопоставления осадков и стока с болотных водосборов, абсолютную величину суточного испарения со сфагновых болот в летние месяцы следует принимать в 1,5—2,8 мм.

11. Уровень грунтовой воды на болоте подвержен сезонным колебаниям, связанным с общим годовым ходом элементов климата, и подвержен случайным колебаниям, вызываемым выпадением отдельных дождей или наступлением бездождных периодов. Сезонные колебания уровня должны быть изучены в отношении вероятных сроков наступления и их высот, а случайные колебания должны исследоваться в отношении количественной связи их с выпадающими дождями, с температурой воздуха и другими действующими факторами.

12. Весенний максимум уровня грунтовой воды наступает с наибольшей вероятностью в следующие сроки: в районе Архангельска во II декаде мая, в Ленинградской области — в конце апреля и начале мая, в Московской области — в III декаде апреля,

в БССР — во II и III декадах апреля, в северо-западной части УССР — в марте и в первой половине апреля.

13. Наибольшая вероятность летнего минимума уровня грунтовой воды приходится на следующие сроки: в районе Архангельска — в августе и начале сентября, в Ленинградской области — в конце июля и начале августа, в Московской области — в конце августа и начале сентября, в БССР — в течение всего августа и в начале сентября, в северо-западной части УССР вероятность летнего минимума приходится на конец июля, на весь август и на начало сентября.

14. Осенний максимум уровня грунтовой воды с наибольшей вероятностью приходится: в Архангельском районе — на весь октябрь, в Ленинградской области — на II декаду октября, в Калининской и Московской областях и в БССР — на II декаду ноября, в северо-западной части УССР — в ноябре и декабре.

15. В дни бездождя происходит снижение уровня грунтовой воды, величина которого зависит от температуры воздуха и от расстояния воды от поверхности болота. В среднем за май — октябрь суточное снижение уровня грунтовой воды в бездождные периоды на неосушенных болотах равно 9,3 мм, на осушенных болотах 15,2 мм. Наибольшее число случаев максимальных суточных снижений грунтовой воды приходится на уровень ее в 30—50 см ниже поверхности болота, а не при вышних горизонтах воды.

16. После выпадения дождя происходит поднятие уровня грунтовой воды, причем каждый 1 мм выпадающего дождя вызывает в те же сутки кратковременное поднятие грунтовой воды в среднем на 4—6 мм; отношение подъема воды к высоте осадков называется коэффициентом поднятия грунтовой воды.

17. Наибольший коэффициент поднятия грунтовой воды соответствует исходному уровню грунтовой воды, находящемуся в среднем на расстоянии 50—60 см от поверхности болота, а не у его поверхности.

18. Изменение уровня грунтовой воды за пятидневку зависит от количества выпавшего за это время дождя, от величины стока и высоты испарения. В условиях Ленинградской области, в среднем при выпадении дождя менее 10 мм за пятидневку, уровень грунтовой воды на болотах понижается, а при выпадении более 15 мм — повышается. В УССР понижение уровня воды за пятидневку останавливается при высоте осадков за это время в 15 мм; по отдельным пятидневкам получаются весьма различные результаты в зависимости от того, в начале или в конце пятидневки выпадают осадки.

19. По шестилетним наблюдениям на Новгородской опытной станции и начало промерзания торфяного и глинистого грунтов происходит одновременно; оттаивание же торфяного грунта наблюдалось позже и нередко затягивалось до конца мая; наибольшая глубина промерзания торфяного грунта зафиксирована на Новгородской станции равной 42 см, а для глинистого грунта — 56 см. В БССР наблюдалось промерзание торфа на глубину 45 см.

20. В моховых буграх, по наблюдениям на Назиевском и Пидебском сфагновых болотах, замерзание идет быстрее, а оттаивание — медленнее, чем в мочажинах между буграми.

21. Для того, чтобы температура торфа на расстоянии 10 см от поверхности опустилась ниже 0° , требовалась, по восьмилетним наблюдениям на Раменском болоте, сумма отрицательных температур в $15-28^{\circ}$, при условии отсутствия снежного покрова. При наличии глубокого снежного покрова нередко отмечаются случаи незамерзания болота в течение всей зимы.

22. На пространстве Москва—Ленинград во все летние месяцы на поверхности болот фиксируются, как правило, случаи снижения температуры ниже 0° . В то же время отмечен случай температуры на поверхности незакультивированных болот $+60^{\circ}$.

23. Коэффициенты фильтрации торфяной залежи весьма различны в зависимости от степени разложения торфа. Коэффициент фильтрации сфагново-пушицевого торфа, разложением менее 35%, не считая очеса, может приниматься для расчетов в пределах 0,001—0,005 см/сек., при разложении 50—75% коэффициент фильтрации равен 0,0005 см/сек.; фильтрация через нижние, сильно уплотненные слои сфагнового торфа близка к нулю.

24. Наиболее надежные величины коэффициентов фильтрации торфяной залежи получаются лишь при полевых методах определения, которые в то же время более просты к осуществлению, чем методы лабораторные. Лабораторные определения дают, как правило, сильно преуменьшенные коэффициенты фильтрации.

25. Наличие в торфяных болотах водоносных жил и внутризалежных протоков существенно облегчает движение грунтовой воды к рекам и канавам. Кроме того, вода торфяного болота кратчайшим вертикальным направлением поступает в подстилающий песчаный горизонт и движется затем по нему в реки и каналы.

26. Сопоставление стока с сильно заболоченных и слабо заболоченных водосборов Ленинградской области и БССР показывает, что суммарный за год и за летнее время сток с сильно заболоченных площадей меньше по величине, чем со слабо заболоченных.

27. Наличие болот на водосборной площади, как показывают материалы по Ленинградской области, уменьшает весеннее и летнее паводки, снижая их в среднем многолетнем до 0,5 л/сек. с 1 га. Влияние неканализованных болот на питание рек в засушливое время остается неясным: наблюдается пересыхание рек как с сильно, так и со слабо заболоченными водосборами.

28. Материалов наблюдений, указывающих влияние на сток прорытия канав, недостаточно. Логическое суждение сводится к тому, что канализация снижает уровень грунтовой воды, создавая этим аккумулятивный поверхностный горизонт торфа и очеса, который задерживает в себе часть снеговых и ливневых вод и затем медленно расходует их на испарение и сток.

29. Регулярные наблюдения в БССР на канализованных болотах показали, что за пятилетний период наблюдений сток с канализованных болотных площадей, при водосборах 3500 га

и более, ни разу не прекращался. В Закавказье, на осушенных подземным дренажем опытных участках Колхидской низменности, дренажный сток из торфяного грунта в 1935 г. не прекращался, несмотря на отсутствие дождей в течение двух месяцев; из суглинка же за это время стока по дренам совершенно не было. Эти регулярные наблюдения и ряд эпизодических наблюдений на глубоких канавах в торфяном грунте подтверждают логическое суждение, что канализованный торфяник является хорошим регулятором стока.

30. Значительные разногласия в вопросе о питании болотами рек вызываются попытками обобщенного, огульного решения вопроса. Болота сфагновые и травяные резко различаются по свойствам растительности и по величинам испарения и фильтрации. Кроме того, невозможно сопоставлять болото с просто бассейном минерального сложения; глина и песок создают весьма различные между собою условия стока, вероятно, более различные, чем торф и песок.

31. Поэтому, сравнивая два бассейна по стоку воды с них и получая разницу в режиме стока, нельзя это еще приписать наличию болота; наличие леса или пашни оказывает свое решающее влияние на сток; наличие песчаного или глинистого грунта также может привести к противоположным заключениям о влиянии, якобы, болота на сток; на самом деле, это может оказаться влиянием леса или песчаного грунта, а не болота.

32. Осушение сфагновых болот уменьшает испарение, а последующая сельскохозяйственная культура болота сильно увеличивает испарение через транспирацию культивируемой растительностью. Суммарный результат двух противоположно действующих факторов, — осушения и культуры, — определяется, но лишь предположительно, в сторону увеличения испарения в результате освоения сфагновых болот под сельскохозяйственные культуры. Увеличение же испарения вызовет увеличение выпадения осадков в смежных или дальних районах, куда направлено движение слоев атмосферы из района освоения болот. Поверхности же травяных болот, испаряющие в естественном состоянии большие количества влаги, не дадут увеличения испарения и сокращения стока после их сельскохозяйственного освоения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аболдин Р. И. К вопросу о классификации болот Сев.-Зап. области. Материалы по опытно-мелиоративному делу, т. II. 1928.
2. Азова А. и Равич-Шербо М. Содержание кислорода в торфяных водах. Русский журнал тропической медицины, 1927, № 10.
3. Аннуфриев Г. Строение болот Ленинградского района. Труды Н.-и. торфяного ин-та, 1931.
4. Алексеев Г. Нормы стока в условиях Ленинградской области. 1932.
5. Аничков А. Геологическое и гидрологическое описание Редькинского и Озерного болотных массивов. Труды Торфяной опытной станции, вып. 1, 1923.
6. Архипов С. Заблачивание суши (факторы и Пути). 1934.
7. Бегак Д. О приросте торфяников. Торфяное дело, 1927, № 11—12.
8. Бегак Д. О приросте верховых торфяников. Торфяное дело, 1929, № 6.
9. Бегак Д. К учету пнистости на торфяном болоте. Торфяное дело, 1928, № 5.
10. Берш В. Руководство по культуре болот. 1914.
11. Богдановская-Гиэнеф И. Растительный покров верховых болот русской Прибалтики. Труды Петергофского естественно-научного ин-та, 1928, № 5.
12. Бокитко И. Полистовский болотный район. Водное хозяйство и мелиорация, 1922, № 4—12.
13. Боруцкий Е. Общий очерк водоемов Мещерской низменности. Труды Косинской биологической станции, 1928, вып. 7—8.
14. Бронзов А. Я. Верховые болота Нарымского края. 1930.
15. Брудастов А. Осушение минеральных и болотных земель. 1934.
16. Брудастов А. К вопросу о жилищном строении истоков грунтовых вод в болотах напорного питания. Опыт-но-мелиоративный вестник, 1929, вып. 1.
17. Вильямс Вл. Определение воды в торфе. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1923, № 5.
18. Винтер Н. Растительность Сяберских озер в Лужском районе Сев.-Зап. обл. Труды Ленинградского об-ва естествознания, 1928, т. VIII, вып. 3.
19. Гарковский С. Вопросы водного режима на культивируемых болотах. Сборн. Центрального Н.-и. института болотного хозяйства. Практические выводы из н.-и. работ, 1935.
20. Гейнрих В. К разрешению проблемы с промерзанием болот. За торфяную индустрию, 1932, № 9.
21. Герасимов Д. Полистовский болотный район. Торфяное дело, 1928, № 1.
22. Герасимов Д. Растительность, строение и история развития торфяного болота Галицкий Мох при ст. Редькино. Труды опытной торфяной станции, 1923, вып. 1.
23. Герасимов Д. Некоторые данные о строении озер Кобелевского торфяника. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1922, № 2.
24. Герасимов Д. Из результатов стационарных исследований на верховом болоте. Торфяное дело, 1925, № 6.
25. Герасимов Д. и Григорьев М. Шатурская болотная система. Строение и происхождение Шатурского болота. 1921.
26. Герасимов Д. Доклад на I гидрологическом съезде 1924 г. Труды съезда, 1925.
27. Гетманов Я. Гидростатическое давление воды в торфе. Изд. Государственного ин-та с.-х. мелиорации, 1928.

28. Гетманов Я. Проблема сфагнов. Торфяное дело, 1928, № 6.
29. Гетманов Я. К вопросу об эволюции лугов и болот. 1925.
30. Гетманов Я. Водные свойства торфяных грунтов. Материалы по опытно-мелиоративному делу, 1929, т. III,
31. Горячкин В. Эксплоатация торфяных залежей на топливо. 1934.
32. Горячкин В. Некоторые данные для проектирования осушительных систем. Торфяное дело, 1928, № 8.
33. Горячкин В. Основы проектирования торфяных хозяйств. 1926.
34. Горячкин В. Регулировка водного режима на болотах для добычи торфа. Труды опытной торфяной станции 1923, вып. 1.
35. Доктуровский В. Из истории образования и развития торфяников. Торфяное дело, 1924, № 2.
36. Доктуровский В. О границах сфагновых болот и болотных районов. Торфяное дело, 1927, № 8.
37. Доктуровский и Ануфриев. Материалы по стратиграфии Ленинградских торфяников. Труды Н.-и. торфяного ин-та, 1931.
38. Доктуровский В. О торфяниках Закавказья. Торфяное дело, 1931, № 2.
39. Доктуровский В. Болота и торфяники, развитие и строение их. 1922.
40. Доктуровский В. Торфяные болота. 1932.
41. Дубах А. Очерки по гидрологии болот. 1936.
42. Дубах А. Заболачивание лесных площадей в связи с концентрированными рубками и меры борьбы с ними. 1934.
43. Дубах А. Деформация поперечного сечения профиля канав в торфяном грунте. Материалы Западной опытно-мелиоративной организации. 1923.
44. Дубах А. К вопросу о давлении и осадке торфа. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1923, № 3—4.
45. Дубах А. О расчетной норме стока для осушительных каналов. Материалы Западной опытно-мелиоративной организации, 1924.
46. Дубах А. Влияние осушительных работ на режим рек. 1933.
47. Дубах А. Осушение лесных земель. 1934.
48. Дубах А. и Спарро Р. Осушение болот открытыми канавами. 1930.
49. Забелин П. О методике наблюдений над грунтовыми водами. Опытно-мелиоративный вестник, 1929, вып. 1.
50. Зедельмейер. О распространении торфяных болот и сфагновых мхов на Кавказе. Торфяное дело, 1927, № 7.
51. Иванов В. Подготовка торфяных болот к разработке. Торфяное дело, 1914, № 4.
52. Ивицкий А. Расчет расстояния между канавами при осушении болот под торфоразработку. За торфяную индустрию, 1935, № 9.
53. Инсторф. Геоботанические и биохимические исследования торфяных болот. Труды Н.-и. торфяного ин-та, 1934, вып. XIV,
54. Келль И. Техническое землеулучшение и гидрология. Сборник — Итоги работ Рудня-Радовельской болотной опытной станции. 1927.
55. Кирсанов А. К вопросам опытного изучения болот Полесья в целях культуры. 1914.
56. Кожанов К. Определение расстояния между осушителями в разных условиях водного питания болот. За торфяную индустрию, 1935, № 9.
57. Кожанов Н. Режим грунтовых вод на Маринских болотах. 1932.
58. Костяков А. Основы мелиорации. 1934.
59. Костяков А. Основные элементы расчета осушительных систем. 1916.
60. Котков С. Приведение усадки и удельного веса торфа к определенным влажностям сырца и воздушно-сухого торфа. Торфяное дело, 1927, № 11—12.
61. Краткий указатель основной литературы по торфу. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1921.
62. Кудряшев В. Обращенные торфяники. Торфяное дело, 1922, № 1—2.
63. Кудряшев В. Распределение энергии в торфянике. 1927.
64. Кудряшев В. Торфяник, как растущее тело. Торфяное дело, 1929, № 1.

65. Кузнец и Чернявский И. Максимальное осушение торфяной залежи для круглогодичной добычи торфа. Торфяное дело, 1933, № 1.
66. Курдюмов С. Водный режим приречных болот и разработка их на топливо. Торфяное дело, 1927, № 5.
67. Курдюмов С. Некоторые данные о процессе образования приречных болот. Торфяное дело, 1928, № 9.
68. Курдюмов С. Некоторые свойства торфа и торфяника. Торфяное дело, 1934, № 1.
69. Кутанс Л. Гидротехника в торфяном деле, ч. 2. ОНТИ, 1936.
70. Лавренко Е. Сфагновые торфяники Харьковской губ. Торфяное дело, 1922, № 1—2.
71. Лавренко Е. Болота Украины. Торфяное дело, 1928, № 6.
72. Максимович Н. Днепр. 1901.
73. Мартинсон А. Гидротехника в торфяной промышленности. 1935.
74. Матюшенко В. О геоботанических основах гидрологии торфяных болот. Труды Н.-и. торфяного ин-та, 1934, вып. 14.
75. Мейер К. Альгологическое исследование озер Петровско-Кобелевской дачи. Изв. Н.-эксп. торфяного ин-та, 1922, № 2.
76. Мещеряков Д., Шмырев, Горленко А. Природные и хозяйственные условия мелиорации Карского луго-болотного массива. Труды Лугового ин-та, 1927, вып. 4.
77. Муратов С. К вопросу водного режима на осушаемых пойменных болотах. Материалы по опытно-мелиоративному делу, 1928.
78. Мурашев С. Весенний сток в долине р. Яхромы. Материалы по опытно-мелиоративному делу, 1928, т. II.
79. Немчинов А. Классификация отторфованных почв Ленинградской области. Почвоведение, 1937, № 7.
80. Никитин С. Бассейн Днепра. Исследования Гидрогеологического отдела. Труды Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России, 1896.
81. Никитин С. Бассейн Волги. Исследования Гидрогеологического отдела. Труды Экспедиции для исследования источников главнейших рек Европейской России, 1899.
82. Обзор русской литературы по торфу с 1917 г. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1923, № 3—4 и № 5.
83. Обзор иностранной литературы по торфу. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1922, № 1.
84. Опников Е. Вопрос об обмелении рек в его современном и прошлом состоянии. 1900.
85. Опников Е. Режим речного стока с бассейна Верхнего Днепра и его составных частей. 1914.
86. Опников Е. Происхождение, строение и типы болот, глубина и древность их. 1917.
87. Опников Е. О наблюдениях над испарением воды из почвы. Геофизический сборник, 1919, т. IV.
88. Опников Е. К вопросу о нормах стока для осушительных каналов по данным 20-летних наблюдений над 3-мя осушительными каналами в Полесье. 1923.
89. Опников Е. Болота. Техническая энциклопедия, 1928, т. II.
90. Опников Э. Возможный влияв осушения великих болотних массивів на режим р. Дніпра, залежно від методів осушення. Сборник — Питання осушення та зрошення. Укр. Академія Наук, 1935.
91. Переселенча-Гребенча О. А. Исторический обзор литературы о торфе и болотах. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1922, № 3—4.
92. Петров И. Болота долины р. Яхромы. 1912.
93. Печкуров А. Научно-исследовательская работа по осушению. Сборник — Практические выводы из научно-исследовательских работ 1936 г. Всесоюзный Н.-и ин-т болотного хозяйства.
94. Печкуров А. Ф. и Каплан М. А. Промерзание и оттаивание торфяных болот. Почвоведение, 1937, № 5.
95. Писарьков Х. Рост мохового болота Горещей лесной дачи влияние заболачивания на прирост сосны. Сельская и Лесная Гаспадарка, 1937, № 3.

96. Писарьков Х. Проектирование осушительных работ в условиях колонизации Карело-Мурманского края. Известия Н.-мелиорационного ин-та, 1931.
97. Писарьков Х. Сравнительная оценка некоторых способов определения коэффициентов фильтрации. Гидротехнический сборник, 1937.
98. Писарьков Х. До питання об пукатасящі махавого болота.
99. Понченко Н. Пусковой период Тесовского строительства. За торфяную индустрию, 1935, № 9.
100. Пухнер. Торф. 1929.
101. Рынкевич М. Болото при с. Озеречном Московского уезда. Труды Лугового ин-та, 1928, вып. V.
102. Руофф З. Морфология и возраст прослоек в верхней толще сфагнового торфа средне-русских болот. Труды Н.-и-торфяного ин-та, 1934, вып. 14.
103. Савкин П. Основы земледелия на торфяных почвах. 1929.
104. Сборник по фитосоциологии и фитогеографии. Изд. Новая Деревня, 1929 (статья: Ануфриева, Цинзерлинга Ю.).
105. Сев.-зап. опытно-мелиоративная организация. Результаты гидромодульных работ Приладожской мелиоративной станции за период 1922—26 гг. Материалы по опытно-мелиоративному делу, 1929, т. III.
106. Сидякин С. К вопросу об осадке торфяной залежи. Торфяное дело, 1934, № 2.
107. Сотченко С. До питання про побудову формули стоку проф. А. Д. Дубаха. Сборник—Питання осушення та зрошення, Укр. Академія Наук, 1935.
108. Стадников Г. Химия торфа. 1932.
109. Сукачев В. Болота, их образование, развитие и свойства. 1926.
110. Такке Бр. Научные основы культуры болот. Перевод, 1930.
111. Тауфильев Г. Болота и торфяники Полесья. 1895.
112. Тауфильев Г. Пределы лесов в Полярной России. 1911.
113. Тарасов Г. Материалы к уточнению проектирования осушительных систем. Сборник материалов Западной опытно-мелиоративной организации, 1929.
114. Торфяной фонд СССР, Изд. НКЗ, 1934.
115. Трифильов Ю. Про визначення розмірів осушних каналів та головні формули розрахункового модуля стоку. Сборник—Питання осушення та зрошення, Укр. Академія Наук, 1935.
116. Федоров Р. Возможности использования торфа за Полярным кругом. Торфяное дело, 1934, № 9.
117. Флеров А. О русских болотах. Известия Н.-эксп. торфяного ин-та, 1922, № 2.
118. Эркин Г. Новый метод определения расстояния между дренами. 1934.
119. Эркин Г. Определение водопроницаемости заболоченных почв в полевой обстановке. Почвоведение, 1937, № 5.
120. Юрьев М. О росте сфагновых болот. Известия Н.-мелиорационного ин-та, 1925, вып. X.

Иностранная литература¹

Германия, Финляндия и Швеция богаты болотоведческой литературой, которая, однако, содержит почти исключительно ботанику, генезис, стратиграфию, классификацию и географию болот. Водный режим излагается в этой литературе лишь в общих выражениях.

По гидрологии болот имеется материал в следующих изданиях:

121. Аuer. Ueber die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren. Acta Forest, Fennica, 1920, 12.
122. Аuer. Present peat logs in southeastern. Canada. 1930.
123. Вас. Moorforschungen in Polen. V Hydrolog. Konferenz der Balt. Staaten, Berichte, 1936.
124. Вас. Osiadanie torfowiska Lublanskiego pod wplywem odwodnienia. 1930.

¹ Иностранная литература по естественно-исторической характеристике болот приведена Доктуровским в Известиях Н.-эксп. торфяного ин-та, в № 2 за 1922 г. и в № 5 за 1923 г.

125. B a c. O niektórych zmianach w torfowiskach niskich, powstałych wskutek odwodnienia i nawodnienia. 1932.
126. B a c. Obserwacje zimowe na torfowisku. 1931.
127. B r i c k. Das Tote Moor am Steinduder Meer. 1914.
128. C a j a n d e r. Studien über die Moore Finnlands. 1913.
129. D o n a t. Das Bruck-Zeller Moos. Wasserwirtschaft und Technik, 1935, S. 376—383.
130. H a r t u n g M. Die Sackung der Moore. Der Kulturtechniker, 1934, № 2.
131. H e l b i n g. Die Verdunstung des Wasser aus dem Boden (из «Handbuch den Bodenlehre»), 1930.
132. K o r n e l l a. Meljoracja gruntów torfowich. 1932.
133. K r a m e r. Das Laibacher Moor. 1905.
134. K u l c z y n s k i. Stratygrafia torfowisk Polessia. 1930.
135. L ü d e c k e. Ueber die Wasserbewegung im Boden. Der Kulturtechniker, 1913.
136. M a l m s t r ö m. Methoden zur untersuchung der Wasserverhältnisse von Torfboden.
137. M a l m s t r ö m. Om faran för skogsmarkens försumpning i Norrland. Medd. fr. Statens Skogsförsöksanstalt, 1931, H. 26.
138. M u l t a m ä k i. Ueber den Grundwasserstand in versumpften Waldboden vor und nach der Entwässerung. 1936.
139. N o m a l s. Einige Daten über die Moore Lettlands. 1936.
140. O s w a l d. Die Hochmoortypen Europas. 1925.
141. P u k s m a n n. Pohjaveepinna koikumine metsamaadel. 1936.
142. R o s l o n s k i. Bilans odpływu polestiego z dorzecza Jasioldy w Porzeczu. 1932.
143. S c h r e i b e r. Moorkunde nach dem gegenwärtigen Stande des Wissens auf Grund 30-jähriger Erfahrung, 1927.
144. S c h r e i b e r. Sind die Moore Wasserregulatoren. 1902.
145. T a c k e. Jahrbuch der Moorkunde. Bd. 15.
146. T a c k e B r. Einfluss der Moore auf die Wasserverhältnisse der Unterlieger. Deutsche Wasserwirtschaft, 1936, № 6.
147. T a m m. Studier över jordsmanstyper och deras förhållande till markens hydrologi i nordvenska skogsterränger. Medd. fr. St. Skogsförsöksanst. 1931, H. 26.
148. T o l p a. Torfowiska okolic Sarn. 1933.
149. W e b e r. Ueber die Vegetation und Entstehung des Hochmoores von Augstun. 1902.
150. W e b e r. Ueber Torf, Humus und Moor. 1903.
151. W o l l n y. Ueber den Einfluss der Pflanzendecken auf die Wasserführung der Flüsse. 1900.
152. W e x. Ueber die Wasserabnahme in der Quellen, Flüssen und Strömen. 1879

Периодическая иностранная литература

Der Kulturtechniker (Breslau).

Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche (Berlin).

Oesterreichische Moorzeitschrift.

Mitteilungen über die Arbeiten der Moorversuchstation in Bremen (Berlin).

Jahrbuch der Moorkunde (Hannover).

Zeitschrift für Moorkultur und Torfverwertung (Wien).

Acta Forestalia Fennica (Helsinki).

Meddelanden från statens skogsförsöksanstalt (Stochholm).

Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu (Helsinki)

СОДЕРЖАНИЕ

От редакции	3
Предисловие	5
Глава I. Общая характеристика болот	6
Гидрологическая специфичность болота —6. Определение болота—7.	
Образование болот на водоемах—10. Образование болот на суходо-	
лах—13. Нарастание болот—17. Разрастание болот по периферии	
—24. Разболачивание земель—25. Глубина и структура торфяной	
залежи—25. Классификация болот—27.	
Глава II. Содержание воды в торфяном болоте	31
Свободная вода—31. Связанная вода—34. Влагоемкость торфа—37.	
Фактическая влажность торфа—41. Действие осушения на влаж-	
ность торфа—45.	
Глава III. Уровень грунтовой воды	49
Грунтовая вода—49. Факторы, действующие на уровень грунтовой	
воды—52. Годовой ход изменений уровня грунтовой воды—58. Ме-	
тоды наблюдений уровня грунтовой воды на болотах—62.	
Глава IV. Падение уровня грунтовой воды в периоды бездождия. . .	66
Сводные величины суточного снижения уровня—66. Значение тем-	
пературы воздуха—68. Значение исходного положения уровня грун-	
товой воды—74. Совместное влияние температуры и исходного поло-	
жения уровня—79.	
Глава V. Повышение уровня грунтовой воды после выпадения дождя	81
Сводные величины коэффициента поднятия грунтовой воды—82. Зна-	
чение высоты выпавших осадков—83. Значение исходного положения	
уровня грунтовой воды—85. Сочетание высоты осадков и исходного	
положения уровня—88. Изменения уровня грунтовой воды по пяти-	
дневкам—89.	
Глава VI. Уравнения связи между колебаниями уровня грунтовой	
воды и действующими факторами	91
Уравнение суточного колебания уровня грунтовой воды	—97
Глава VII. Испарение с болот	99
Испарение с поверхности грунта нарушенной структуры—102. Испа-	
рение с постоянных монолитов—104. Испарение со сменных моноли-	
тов—109. Испарение из лизиметров—113. Гидрологический метод	
определения испарения—117. Сравнение величин испарения с боло-	
та и луга по влажности воздуха —120. Выводы—123.	
Глава VIII. Фильтрация воды в торфяном грунте болота	126
Предварительные соображения—126. Коэффициент фильтрации—127.	
Лабораторные определения коэффициента фильтрации—128. Полевые	
методы определения коэффициента фильтрации—134. Скорость дви-	
жения воды в торфяной залежи—151. Жильное движение воды в	
торфяной залежи—152. Распространение фильтрации в сторону	
от водоема—154. Выводы—155.	

Глава IX. Сток с болот 157

Сток с элементарных площадок—161. Сток с малых речных водосборов—165. Сток по малым рекам Ленинградской области—169. Сток с лесоболотной площади—172. Сток в связи с уровнем грунтовой воды на болоте—177. Сток с больших речных бассейнов—177. Выражение стока с болот формулами—179. Влияние на сток осушения и культуры болот—181. Дренажный сток с торфяного и глинистого грунтов—182. Выводы—184.

Глава X. Химизм торфяных залежей 187

Глава XI. Температурный режим болот 191

Время замерзания и оттаивания и глубина промерзания болот—191. Косвенные определения промерзания и оттаивания болот—195. Влияние микрорельефа на промерзание болот—197. Анкетные материалы по замерзанию и оттаиванию болот—198. Зависимость промерзания торфяной залежи от температуры воздуха—200. Влияние снежного покрова на глубину промерзания болот—202. Влияние грунтового теплоприхода на промерзание болота—203. Формула глубины промерзания болот Института болотного хозяйства—208. Поверхностный температурный режим болот—209. Глубинный температурный режим болот—212. Выводы—216.

Глава XII. Сводные положения 217

Литература : 222

Подписано к печати 17/XI 1944 г.

Тираж 1000

Печ. листов $14\frac{1}{4} + 1$ вкл.

Уч.-изд. листов 20,1.

Заказ № 981

ИС 30307.

5-я типография треста «Полиграфкнига» ОГИЗ'а при СНК РСФСР.
Свердловск, ул. Ленина, 47.