

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -  
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Семенова К.С.

# ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ШЛЮЗОВАНИЕ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Монография



Москва 2023

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -  
МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Семенова К.С.

**ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ШЛЮЗОВАНИЕ  
ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ В УСЛОВИЯХ  
МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ**

Монография

Москва 2023

УДК 502/504:614.841.42:553.97

ББК 26.343.4 + 43.488

С 30

Рецензенты:

**Бондарева Г. И.**, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по инвестициям и общим вопросам ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»

**Рыжко Н. Ф.**, доктор технических наук, зав. отд. МТСиТП, главный научный сотрудник ВолжНИИГиМ

**Семенова К.С.**

С 30 Противопожарное шлюзование осушенных торфяников в условиях Мещерской низменности / К.С. Семенова // ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – Саратов: Амирит, 2023. — 124 с.

ISBN 978-5-00207-312-2

В монографии изложены теоретические и экспериментальные аспекты обоснования противопожарного шлюзования осушенных торфяников в условиях Мещерской низменности. Представлены данные натурного эксперимента по предупреждению возникновения пожара на существующей осушительной системе открытого типа с помощью дополнительного увлажнения. На основе экспериментальных исследований модифицирована математическая модель двумерного влагопереноса, и представлен прогноз водного баланса за 53 года в условиях Мещерской низменности с учетом продуктивности сельскохозяйственных культур согласно особенности шлюзования осушенных торфяников.

УДК 502/504:614.841.42:553.97

ББК 26.343.4 + 43.488

ISBN 978-5-00207-312-2

© Семенова К.С. 2023

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Каждый год, особенно в период летней засухи, поступает информация о пожарах в лесах и на торфяниках. Торфяные и лесные пожары наносят огромный, часто невосполнимый ущерб природно-экологическим и материальным ресурсам Российской Федерации. Полные потери от пожаров составляют почти 5% бюджета страны.

Самые крупные пожары были в экстремальном по сухости 1972 году. Этот год был с повышенной солнечной активностью, дефицитом снега, отсутствием дождей весной и летом. Пожары в центральной части страны охватили площадь около 1,8 млн. гектаров. В Подмосковье лесные и торфяные пожары унесли жизнь 104 человек, сгорело 19 деревень, пострадало около 650 тыс. га леса и 4900 штабелей торфа.

Жаркое лето 2010 года (с повторяемостью 1 раз в 12 лет) привело к большому количеству лесных и торфяных пожаров, из-за которых в Европейской части России погибли 62 человека, выгорело более 4 млн. га лесов, общий экономический ущерб составил свыше 12 млрд. рублей. В июле-августе 2010 года крупные пожары на осушенных заброшенных торфяниках «Радовицкий мох» в Луховицком районе и торфяниках в Егорьевском и Шатурском районах (площадь возгорания составила около 2,5 тысячи гектаров) привели к сильному задымлению и удушающему смогу в Москве и Московской области.

Помимо большого экономического ущерба, торфяные пожары наносят огромный экологический ущерб, гибнет флора и фауна, приводят к уничтожению плодородного профиля торфяной залежи, загрязняют атмосферу и воду продуктами сгорания, тем самым создают опасность жизни и здоровью людей, угрожают населенным пунктами, постройкам, дорогам.

Главные проблемы борьбы с торфяными пожарами: сложность профилактики и предупреждения пожаров; проблемы обнаружения очага возгорания; своевременность доставки сил и средств пожаротушения; дефицит огнетушащих составов на месте пожара; зависимость от погодных и климатических условий на



распространение возгорания торфа; обширная территория пожара; труднодоступность регионов возникновения пожаров и рассредоточенность очагов горения.

Особую опасность представляют осушенные торфяники. В жаркую сухую погоду происходит иссушение их профиля, они могут быстро загореться от внешних источников огня, самовозгораются. Мещерская низменность в основном состоит из таких пожароопасных осушенных, выработанных, заброшенных торфяных месторождений.

Проблема обеспечения пожарной безопасности торфяных массивов для России является комплексной и заключается в эффективной профилактике пожаров, то есть их предупреждению, недопущению возникновения, а при возникновении быстром тушении. Поэтому изучение данной проблемы для Мещерской низменности является весьма актуальной.

Одним из наиболее эффективных противопожарных мероприятий считается предупредительное увлажнение осушенных земель. Исследования в области применения шлюзования как способа увлажнения осушаемых земель имеются в работах А. Х. Якобсона, Р. П. Спарро, А.Д. Дубаха, В. С. Доктуровского, П. С. Пиотровского, Б. Г. Гейтмана, Н. Ф. Лебедевича, А. И. Ивицкого, С. П. Михайлова, А. Н. Костякова, А.Д. Брудастова, С. Ф. Аверьянова, В.П. Кравченко, Х.Н. Старикова, А.М. Янголя, Н.И. Штакала, Б.С. Маслова, Ф.Р. Зайдельмана, А.И. Еськова, П.И. Пыленка, А.И. Голованова, Ю.А. Мажайского и других ученых.

Большую работу по исследованию способов увлажнения провели Украинский (г. Киев), Всесоюзный (г. Москва) и Северный (г. Ленинград) научно-исследовательские институты гидротехники и мелиорации. В настоящее время увлажнение применяется практически во всех основных районах осушения.

Основы расчета водного режима осушенных болот, необходимые для обоснования противопожарного шлюзования, заложены в трудах классиков мелиоративной науки А.Н. Костякова, С.Ф. Аверьянова, А.Д. Брудастова, идеи которых получили дальнейшее развитие в работах А.И. Голованова, Б.С. Маслова, И.В. Минаева, П.И. Пыленка, В.В. Шабанова, В.Ф. Шебеко.

Осушаемые торфяные почвы в России в настоящее время используют для размещения пропашных и зерновых культур в условиях «черной» культуры земледелия. Их поверхность открыта для пожаров и быстрой сработки торфа. Вместе с тем в условиях средней и западной Европы осушаемые торфяные почвы образуют луговые и луго-пастбищные угодья, занятые многолетними травами, что уменьшает их сработку, эрозию и снижает опасность возгорания [30]. Ф.Р. Зайдельман подчеркивает необходимость активного (двустороннего) регулирования водного режима. Это подтверждается опытом использования торфяников в Германии, Голландии, Дании, Финляндии, Норвегии и в других странах Европы при смешанном, покровном или немецком смешанно-слоином песковании или при «римпауской» культуре использования [23]. Работы зарубежных авторов [65] ... [97] освещают отдельные проблемы осушения и сохранения торфяников.

Оценивая результаты этих работ, следует отметить высокую эффективность внедрения увлажнения с помощью шлюзования осушительных систем на повышение влажности корнеобитаемой зоны и урожайность посевов. Шлюзование имеет ограниченное применение по гидрогеологическим условиям, не обеспечивает равномерного водно-воздушного режима на мелиорируемой территории, хотя целесообразно в противопожарном отношении. В современных работах ученые-мелиораторы отдают приоритет более экологичным водооборотным осушительно-увлажнительным системам, использующим сбросные воды осушительной сети и местного стока.

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

## 1.1 Географическое положение

Координаты: 55°10'58" с.ш. 40°20'00" в. д.

Протяженность с севера на юг 190 км.

Протяженность с запада на восток 210 км [44].

Площадь низменности около 26000 км<sup>2</sup> [56].

Мещёрская низменность располагается в центральной части Восточно-Европейской равнины (Мильков, Исаченко, Раковская, Давыдова) и имеет вид треугольника, ограниченного с юга – рекой Окой, с севера – рекой Клязьмой, с востока реками – Судогдой и Колпью. Западная граница Мещёрской низменности в пределах Московской области доходит до города Москвы (остатками лесных массивов Мещёры являются в Москве парк «Сокольники» и массив Лосиного острова), восточная граница упирается в Окско-Цнинский вал в районе города Касимов Рязанской области (рисунок 1.1).

Равнина понижается с севера на юг, в сторону реки Оки. На севере низменности высота над уровнем моря составляет 120...130 метров, понижаясь до 80...100 метров в южной части низменности. По центру низменности от города Егорьевска до города Касимова тянется небольшая возвышенность, сложенная четвертичными зандровыми песками и моренными суглинками – Мещёрский хребет – средней высоты около 140 м и максимальной – 214 м (у деревни Михали Егорьевского района). Он служит водоразделом между бассейнами рек Клязьмы и Оки, образует знаменитые Клепиковские озёра на реке Пра, а также всегда является наиболее заселённой среди непроходимых болот территорией (рисунки 1.2 и 1.3) [44].

## 1.2 Климат

Низменность находится в умеренно-континентальном климате с относительно холодной зимой и умеренно тёплым, а иногда и жарким летом. Среднего-

довая температура воздуха составляет  $+4,3^{\circ}\text{C}$ , колебания по годам  $+1,7^{\circ}\text{C}$  ...  $+6,5^{\circ}\text{C}$ . Самый холодный месяц – февраль. Средняя температура февраля  $-11,6^{\circ}\text{C}$ . Зима снежная с умеренными морозами. В тёплые зимы температура может подниматься до  $+3^{\circ}\text{C}$ , в холодные падает до  $-30^{\circ}\text{C}$ , иногда температура опускается до  $40...45^{\circ}\text{C}$  ниже нуля [44].

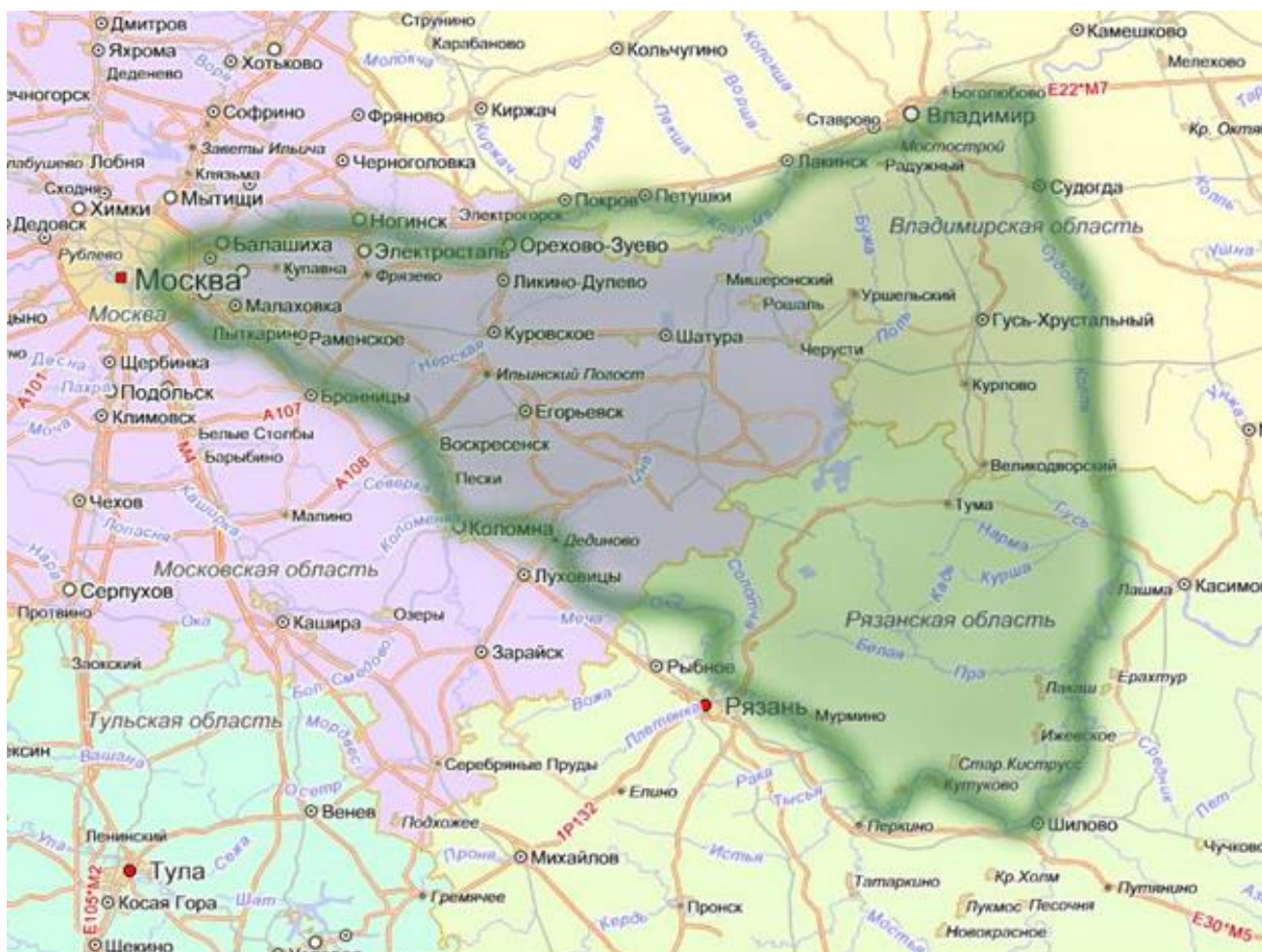


Рисунок 1.1 – Мещерская низменность

В обычные зимы температура не опускается ниже  $-25...-30^{\circ}\text{C}$ . Снег выпадает в начале ноября, но первые заморозки могут быть и в сентябре. Отрицательные среднемесячные температуры держатся пять месяцев в году. Толщина снежного покрова достигает до 80 сантиметров. Снег сходит в первой половине апреля. Самый жаркий месяц – июль, когда температура воздуха может достигать до  $+40^{\circ}\text{C}$  [44]. Средняя температура июля  $+18^{\circ}\text{C}$  [1]. Лето тёплое с обильными ливнями и грозами.



Количество выпадающих осадков составляет 550 мм...450 мм [1], убывая с северо-запада на юго-восток равнины, 25...30 % осадков приходится на зимний период.

На протяжении всего года преобладают ветры западных и юго-западных направлений.

Более детальный анализ увлажненности теплых периодов 53 лет наблюдений (1959...2011 г.) по всем действующим пяти метеостанциям Мещерской низменности приведен ниже.

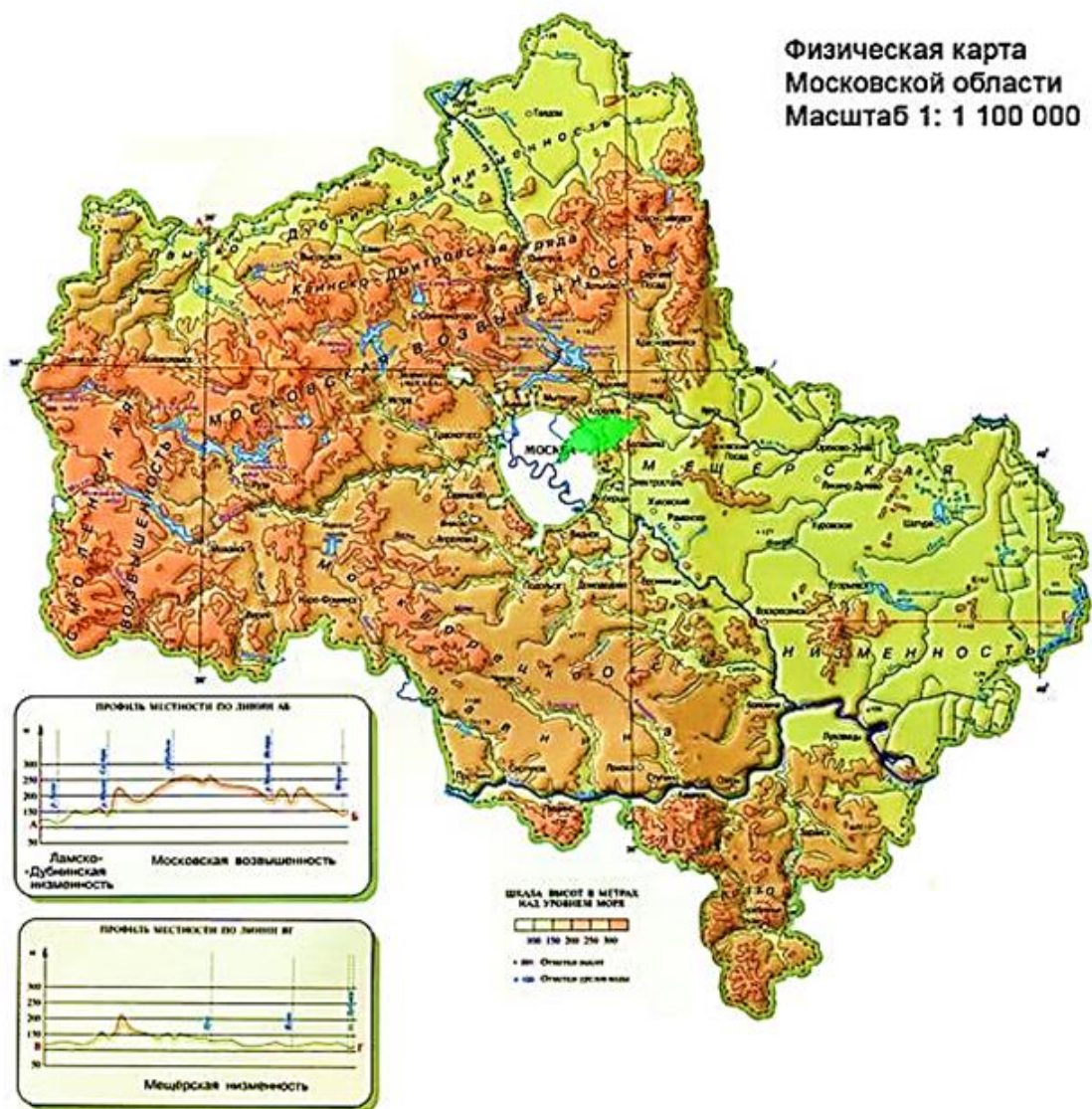


Рисунок 1.2 – Рельеф Московской области. На врезках показаны профили местности Московской возвышенности в сравнении с профилем Мещерской низменности





Рисунок 1.3 – Карта Московской области с частью Мещерской низменности

Характерной природной особенностью служит наличие ежегодного весеннего половодья, которое оказывает большое влияние на сезонные явления в жизни птиц и других животных. Поймы рек бывают покрыты 2...3 – метровым слоем воды в течение 30...70 дней. Над водой возвышаются лишь отдельные участки суши, верхушки прибрежных деревьев и кустарников. Половодье вызывает местные перемещения наземных животных, вынуждая их собираться на более возвышенных местах [44].

### 1.3 Оценка природной влагообеспеченности территории Мещерской низменности

Под природной (естественной) влагообеспеченностью территории мы понимаем разность между испаряемостью  $E_0$  и суммой атмосферных осадков  $Oc$  за определенный период. В данной работе рассматривался теплый период, то есть период с температурой воздуха, превышающей  $5^{\circ}\text{C}$ , и при заметном водопотреблении растительным покровом. Осредненная по Мещерской низменности продолжительность теплого периода принята равной 180 суток. По сути дела сравниваются два энергетических показателя: количество солнечного тепла и его потребность в испарении всей атмосферной влаги. В таком понимании влагообеспеченность аналогична «индексу сухости» М.И. Будыки [22].

В случае избытка тепла этот показатель характеризует примерную величину оросительной нормы, а при избытке влаги – требуемый объем дренажного стока для характерного водосбора. Исходя из этого смысла, показатель влагообеспеченности часто называют дефицитом увлажнения территории:

$$D = E_0 - Oc, \quad (1.1)$$

где  $E_0$  – испаряемость или испарение с водной поверхности за теплый период или потенциальная эвапотранспирация, мм;

$Oc$  – сумма атмосферных осадков за теплый период, мм.

Если оперировать максимально возможным (потенциальным) водопотреблением конкретной сельскохозяйственной культуры  $E_k = K_6 \cdot E_0$ , где  $K_6$  – биологический коэффициент (по Н.В. Данильченко), то можно говорить о дефиците увлажнения культуры [39].

Дефицит увлажнения за каждый теплый период года (1.1) определяли с помощью формулы Н.Н. Иванова по среднедекадным значениям температуры  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и относительной влажности воздуха  $a$  (%):

$$E_0 = 0,0061 \cdot n \cdot K_6 \cdot (25 + T)^2 \cdot (1 - 0,01 \cdot a), \text{ мм – за декаду.} \quad (1.2)$$

где  $n$  – продолжительность периода (декады), сут;

$K_b$  – биологический коэффициент, учитывающий особенности конкретного ценоза;

$T$  – среднедекадная температура воздуха, °С;

$a$  – влажность воздуха, %.

Эта формула была проверена нашими измерениями испарения с водной поверхности на опытном участке стационара кафедры мелиорации и рекультивации земель в пойме реки Дубны за два теплых периода 2013 и 2014 г. (описаны в главе 4).

Для оценки дефицита увлажнения Мещерской низменности в целом были использованы все пять действующих на этот момент метеостанций с одинаковыми периодами наблюдения: Павловский Посад – на северо-западной окраине низменности; Черусти – примерно в её центре; Владимир – на севере низменности; Тума – примерно в центре Рязанской Мещёры и Шилово – на юго-восточной окраине низменности, иными словами, имеющиеся метеостанции равномерно покрывали территорию низменности (рисунок 1.1). Использовался довольно значимый период наблюдений 53 года с 1959 по 2011 годы. Он включил в себя экстремальные годы: очень засушливые 1972, 2010 и очень влажные 1962, 1990.

В таблицах 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 приведены суммы осадков и испаряемости за каждый год наблюдений и за теплые периоды, на основании которых подсчитаны средние значения дефицита увлажнения за все теплые периоды.

В таблице 1.6 приведена оценка влагообеспеченности теплых периодов Мещерской низменности для характерных лет, из которых видна большая амплитуда влагообеспеченности по годам и закономерный рост дефицита с северо-запада на юго-восток.



Таблица 1.1 – Метеоданные станции Павловский Посад (мм)

Год	Осадки годовые	Осадки за теплый период	Испаряемость годовая	Испаряемость за теплый период	Дефицит увлажнения за теплый период
1959	620	352	518	455	102
1960	504	277	528	482	205
1961	548	266	553	489	223
1962	658	434	434	372	-63
1963	489	277	516	472	195
1964	458	277	481	435	157
1965	583	372	457	395	23
1966	730	284	506	458	174
1967	548	276	564	513	237
1968	685	395	544	475	80
1969	506	358	458	416	58
1970	715	390	494	437	47
1971	683	445	468	406	-39
1972	456	200	705	650	450
1973	579	328	554	486	159
1974	629	339	480	420	81
1975	599	300	618	538	238
1976	695	455	415	356	-99
1977	705	454	495	439	-15
1978	672	374	433	375	1
1979	661	373	546	493	121
1980	804	537	426	373	-164
1981	642	362	620	551	190
1982	700	451	472	402	-49
1983	790	438	492	419	-19
1984	604	408	522	446	37
1985	680	423	451	403	-20
1986	713	411	490	446	34
1987	594	384	438	376	-8
1988	544	379	467	407	28
1989	645	407	443	370	-37
1990	963	629	408	336	-293
1991	679	470	470	397	-73
1992	618	315	581	513	198
1993	839	480	424	358	-122
1994	661	367	464	410	43
1995	585	302	597	527	225
1996	583	365	509	434	69
1997	606	390	480	406	16
1998	776	460	487	433	-27
1999	577	246	629	560	314
2000	582	331	513	446	114
2001	766	461	512	440	-21
2002	533	256	629	546	290
2003	704	426	420	365	-61
2004	624	361	456	393	32
2005	600	282	521	456	174
2006	629	369	521	456	87
2007	605	327	591	501	174
2008	825	555	489	410	-145
2009	567	327	566	486	159
2010	532	265	724	654	389
2011	611	290	647	585	294
среднее	640	372	514	450	78

Таблица 1.2 – Метеоданные станции Черусти (мм)

Год	Осадки годовые	Осадки за теплый период	Испаряемость годовая	Испаряемость за теплый период	Дефицит увлажнения за теплый период
1959	573	323	536	472	149
1960	652	405	522	464	59
1961	556	258	552	480	222
1962	906	620	443	379	-241
1963	573	288	550	506	218
1964	500	283	491	442	159
1965	656	417	440	386	-31
1966	679	279	520	467	188
1967	538	275	510	464	190
1968	613	328	505	444	116
1969	454	270	441	392	122
1970	637	338	442	385	47
1971	626	376	455	406	30
1972	478	190	693	624	434
1973	595	293	486	414	121
1974	673	355	472	412	57
1975	520	268	633	540	272
1976	561	354	432	366	12
1977	528	331	537	475	145
1978	648	416	420	360	-56
1979	590	336	529	469	133
1980	632	430	408	355	-75
1981	553	329	588	525	196
1982	533	288	457	396	108
1983	595	323	497	421	98
1984	527	377	514	444	67
1985	585	365	418	378	13
1986	660	426	475	427	1
1987	546	428	390	337	-92
1988	384	271	537	469	198
1989	544	336	470	411	75
1990	782	558	403	339	-220
1991	405	288	520	449	161
1992	432	241	485	440	199
1993	546	317	419	354	37
1994	514	330	448	400	69
1995	521	251	568	513	262
1996	477	283	490	422	140
1997	592	376	504	418	41
1998	714	442	560	489	47
1999	616	282	569	497	214
2000	747	489	488	422	-67
2001	590	286	563	473	187
2002	664	335	622	532	197
2003	672	401	491	426	25
2004	689	432	476	398	-35
2005	608	300	492	419	118
2006	696	382	468	407	25
2007	634	349	549	476	127
2008	776	468	430	358	-110
2009	508	292	511	436	143
2010	543	247	646	572	325
2011	617	302	544	487	185
среднее	594	344	502	438	94

Таблица 1.3 – Метеоданные станции Владимир (мм)

Год	Осадки годовые	Осадки за теплый период	Испаряемость годовая	Испаряемость за теплый период	Дефицит увлажнения за теплый период
1959	579	324	527	467	143
1960	604	380	554	504	123
1961	554	278	562	517	240
1962	692	470	445	389	-80
1963	571	387	549	505	118
1964	450	289	535	485	196
1965	550	374	480	425	51
1966	581	228	614	557	329
1967	509	325	632	576	251
1968	677	389	606	534	145
1969	508	329	486	438	110
1970	587	311	564	498	187
1971	608	387	521	466	79
1972	505	225	756	707	482
1973	631	322	616	548	226
1974	558	270	516	454	184
1975	539	287	663	589	302
1976	543	324	619	548	224
1977	634	362	577	515	154
1978	702	412	530	471	59
1979	654	359	604	546	187
1980	694	436	456	402	-34
1981	558	262	699	627	365
1982	635	376	508	439	63
1983	815	440	534	464	24
1984	556	368	600	525	157
1985	709	427	491	438	12
1986	725	429	509	455	26
1987	658	492	415	364	-128
1988	493	328	538	470	142
1989	574	356	507	430	74
1990	774	428	406	334	-94
1991	580	406	473	409	3
1992	590	295	563	506	211
1993	717	377	441	387	10
1994	590	302	449	400	98
1995	710	388	494	430	43
1996	575	347	456	393	46
1997	573	388	457	395	7
1998	677	404	501	444	40
1999	546	238	630	569	331
2000	604	378	481	434	56
2001	602	304	484	423	119
2002	580	305	645	563	258
2003	551	311	460	414	103
2004	581	376	460	396	20
2005	589	327	484	426	99
2006	549	308	431	373	66
2007	585	321	542	462	141
2008	779	510	377	319	-191
2009	497	288	434	374	87
2010	548	292	599	543	251
2011	575	280	502	450	170
среднее	604	349	528	468	119

Таблица 1.4 – Метеоданные станции Тума (мм)

Год	Осадки годовые	Осадки за теплый период	Испаряемость годовая	Испаряемость за теплый период	Дефицит увлажнения за теплый период
1959	514	260	611	553	293
1960	561	290	566	523	233
1961	561	267	580	529	263
1962	990	695	443	391	-304
1963	413	206	562	516	311
1964	460	281	500	455	174
1965	538	363	433	384	21
1966	534	235	596	540	305
1967	484	247	584	545	298
1968	560	319	556	496	178
1969	431	285	488	443	159
1970	505	274	506	449	174
1971	531	330	530	473	143
1972	467	216	725	672	456
1973	565	289	549	491	202
1974	602	352	470	414	63
1975	492	237	615	547	310
1976	503	319	553	489	170
1977	624	400	492	440	39
1978	707	457	405	354	-103
1979	567	310	552	497	187
1980	669	453	403	360	-94
1981	559	271	590	539	268
1982	627	369	457	404	35
1983	539	228	486	419	192
1984	527	376	545	475	99
1985	621	376	448	403	27
1986	564	295	537	485	191
1987	534	375	413	361	-13
1988	395	220	585	523	303
1989	600	365	511	441	76
1990	981	644	440	360	-284
1991	498	308	533	471	163
1992	670	356	575	519	163
1993	640	343	464	395	52
1994	635	370	484	436	67
1995	531	232	626	554	321
1996	498	277	608	554	276
1997	593	370	553	483	114
1998	668	408	559	500	92
1999	669	368	589	522	155
2000	619	374	502	440	66
2001	536	244	540	476	232
2002	670	350	631	552	202
2003	701	447	479	423	-24
2004	671	395	439	386	-9
2005	799	452	472	421	-31
2006	766	454	449	399	-55
2007	595	317	636	562	245
2008	744	439	461	393	-47
2009	604	381	516	442	61
2010	582	260	724	660	400
2011	592	294	546	495	201
среднее	594	340	530	473	133

Таблица 1.5 – Метеоданные станции Шилово (мм)

Год	Осадки годовые	Осадки за теплый период	Испаряемость годовая	Испаряемость за теплый период	Дефицит увлажнения за теплый период
1959	380	152	624	564	412
1960	322	201	619	572	371
1961	383	190	542	481	290
1962	712	561	462	415	-146
1963	427	226	576	525	299
1964	413	208	493	447	239
1965	396	271	509	453	182
1966	545	305	599	541	236
1967	562	289	570	529	240
1968	465	224	571	513	290
1969	388	232	528	483	251
1970	422	221	572	511	290
1971	446	244	603	541	297
1972	340	132	794	740	608
1973	601	386	534	467	81
1974	601	378	501	440	62
1975	521	296	647	577	281
1976	500	334	577	513	178
1977	569	372	510	454	83
1978	630	425	445	390	-34
1979	541	307	594	542	235
1980	729	517	405	361	-156
1981	487	221	613	555	334
1982	545	303	494	430	127
1983	560	253	507	441	188
1984	477	317	556	493	176
1985	592	354	477	434	80
1986	654	354	579	525	172
1987	539	407	440	383	-24
1988	437	293	562	492	199
1989	578	395	532	451	56
1990	892	578	430	359	-219
1991	419	219	535	479	261
1992	548	312	594	534	223
1993	651	368	486	412	43
1994	640	407	448	395	-12
1995	571	259	574	513	254
1996	479	276	532	474	198
1997	563	348	545	468	120
1998	669	375	574	513	138
1999	637	335	582	518	183
2000	718	516	476	420	-96
2001	595	332	551	482	150
2002	567	266	629	549	283
2003	649	433	451	402	-31
2004	561	311	458	399	89
2005	745	467	494	428	-39
2006	631	331	480	419	87
2007	502	235	640	559	324
2008	681	415	508	440	25
2009	570	354	534	459	105
2010	473	226	747	675	448
2011	558	268	594	534	266
среднее	549	321	545	485	164

Таблица 1.6 – Оценка влагообеспеченности теплых периодов Мещерской низменности (мм)

Обеспеченность, %	Павловский Посад	Черусти	Владимир	Тума	Шилово	Характеристика года
1.3	450	434	482	456	608	Самый сухой
3.2	389	325	365	400	448	
5.1	314	272	331	321	334	
6.9	294	262	329	311	324	Сухой
8.8	290	222	302	310	299	
10.7	238	218	258	305	297	
12.5	237	214	251	303	290	
14.4	225	199	251	298	290	
16.3	223	198	240	293	290	
18.2	205	197	226	276	290	
20.0	198	196	224	268	283	
21.9	195	190	211	263	281	
23.8	190	188	196	245	271	
25.7	174	187	187	233	266	Полусухой
27.5	174	185	187	232	261	
29.4	174	161	184	202	254	
31.3	159	159	170	202	251	
33.1	159	149	157	201	240	
35.0	157	145	154	192	239	
36.9	121	143	145	191	236	
38.8	114	140	143	187	235	
40.6	102	133	142	178	223	
42.5	87	127	141	174	199	
44.4	81	122	123	174	198	Средний
46.3	80	121	119	170	188	
48.1	69	118	118	163	183	
50.0	58	116	110	163	182	
51.9	47	108	103	159	178	
53.7	43	98	99	155	176	
55.6	37	75	98	143	172	
57.5	34	69	87	114	150	
59.4	32	67	79	99	138	
61.2	28	59	74	92	127	
63.1	23	57	66	76	120	Полувлажный
65.0	16	47	63	67	105	
66.9	1	47	59	66	89	
68.7	-8	41	56	63	87	
70.6	-15	37	51	61	83	
72.5	-19	30	46	52	81	
74.3	-20	25	43	39	80	
76.2	-21	25	40	35	62	
78.1	-27	13	26	27	56	
80.0	-37	12	24	21	43	
81.8	-39	1	20	-9	25	Влажный
83.7	-49	-31	12	-13	-12	
85.6	-61	-35	10	-24	-24	
87.5	-63	-56	7	-31	-31	
89.3	-73	-67	3	-47	-34	
91.2	-99	-75	-34	-55	-39	
93.1	-122	-92	-80	-94	-96	
94.9	-145	-110	-94	-103	-146	
96.8	-164	-220	-128	-284	-156	
98.7	-293	-241	-191	-304	-219	
Среднеарифм.	79	94	119	133	164	
50% обесп	58	116	110	163	182	
Амплитуда	743	675	673	760	827	

На рисунке 1.4 приведены обобщенные данные о многолетнем тренде дефицита увлажнения в Мещерской низменности за 53 года. Из рисунка 1.4 следует, что, прежде всего, наблюдается синхронность многолетних колебаний по всем метеостанциям, особенно оно контрастно в теплые периоды экстремальных по увлажнению лет: в самые сухие теплые периоды в 1972 и в 2010 годах и в самые влажные теплые периоды 1962 и 1990 годы. Это говорит о погодной однородности исследованной низменности. Наряду с синхронностью годовых изменений наблюдается чрезвычайно сильная годовая изменчивость, амплитуда колебаний дефицитов увлажнения достигает 827 мм (таблица 1.6 станция Шилово) при среднемноголетней сумме атмосферных осадков за теплый период около 321 мм (таблица 1.1...1.5).

На погоду Мещёры влияют локальные циклонические процессы. В данной местности преобладают ветры с северо-запада на юго-восток. Об этом говорит построенная нами карта изолиний среднемноголетних дефицитов увлажнения теплого периода, на которой изолинии дефицита вытянуты в этом направлении (рисунок 1.5).

Наблюдается не очень явно выраженная многолетняя тенденция уменьшения дефицитов на метеостанциях Павловский Посад и Черусти, среднемноголетняя скорость уменьшения дефицита увлажнения здесь составляет 0,11...0,15 мм/год, что за 53 года составляет в среднем около 7 мм (рисунок 1.4). Наибольшее уменьшение дефицита выявлено на самом севере Мещёры (станция Владимир) – около 100 мм за 53 года. Сам факт снижения дефицита увлажнения говорит о возможном некотором снижении риска возгорания торфяников в будущем, хотя достаточно наступить такому засушливому лету, как в 1972 году (с повторяемостью 1 раз в 100 лет) и все Московская, Рязанская и Владимирская области будут укутаны дымом горящего торфяника на протяжении многих недель.

Приведенные расчеты не должны успокаивать и необходимо быть готовым к пожароопасному периоду. По нашему мнению нужно активное регулирование влажности осушенного торфяника, путем повсеместного регулирования его влажности, сочетая достаточное осушение и его увлажнение, например, шлюзованием.

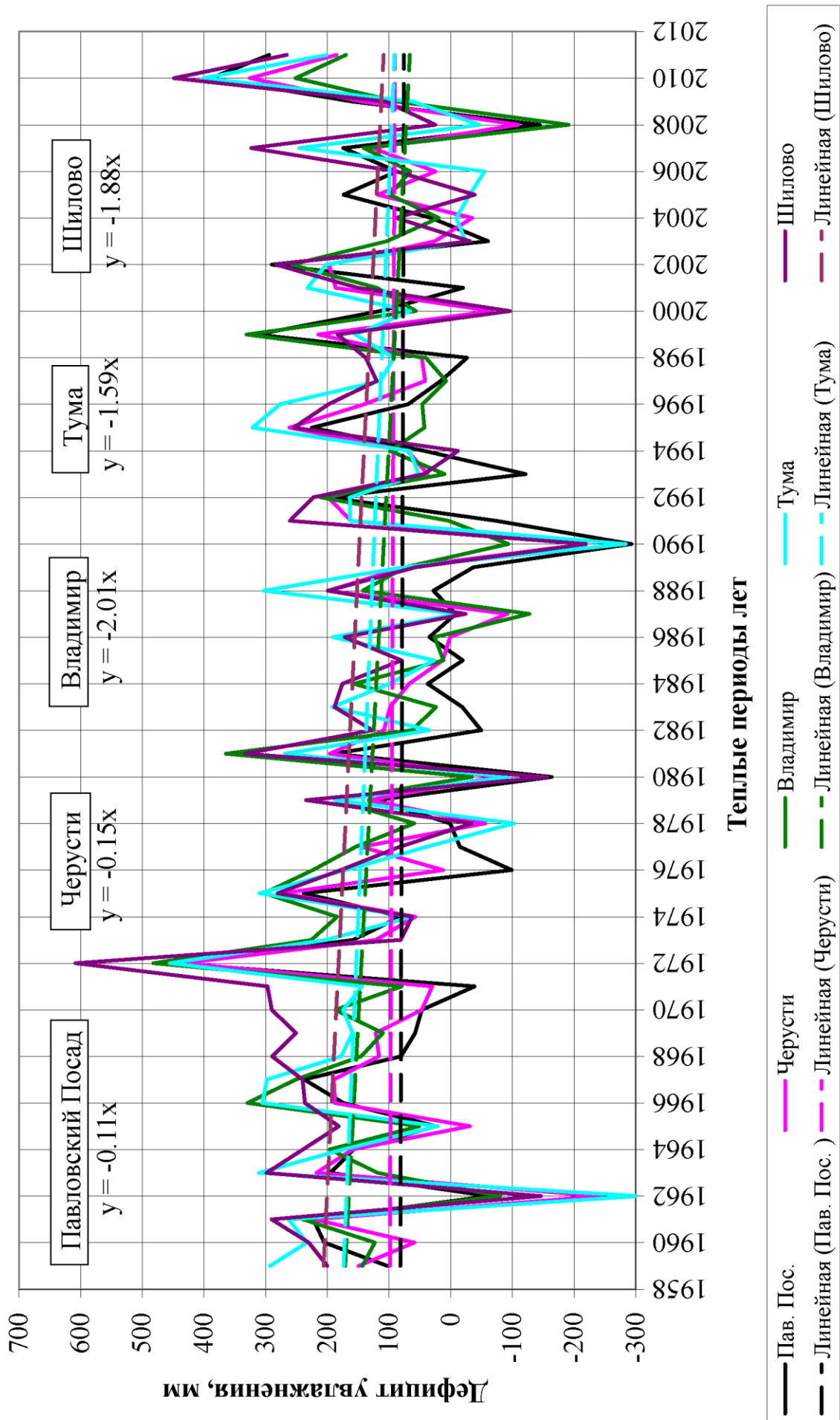


Рисунок 1.4 – Многолетние тренды дефицита увлажнения и уравнения регрессии по всем станциям Мещёры





Рисунок 1.5 – Изолинии дефицита увлажнения теплого периода  
средние для 53 лет

Это мероприятие к тому же будет способствовать и некоторому росту продуктивности сельскохозяйственных культур, страдающих от недостатка влаги в сухие периоды лета.

### Геологические условия и почвы

Мещерская низменность создана деятельностью речных и талых ледниковых вод антропогенного оледенения [1]. После таяния ледника смесь из песка, гравия и глины ровным слоем легла на плотные водонепроницаемые глины юрского периода. Талая вода заполнила впадины и углубления, оставленные ледником, образовав тем самым озёра и болота.

Почвы главным образом подзолистые, сложенные с поверхности покровными и лёссовидными суглинками, с плодородными серыми лесными почвами, в

понижениях имеются торфяно-болотные почвы. Имеется залежи торфа, кварцевых песков, глин.

Эта информация была использована при обустройстве математической модели шлюзования.

### **Гидрология**

В пределах низменности рек мало, в основном они расположены по её границе. Все они принадлежат бассейну реки Оки. Наиболее крупные из них – Цна, Пра, Поля, Гусь, Бужа.

Особенностью рек низменности является небольшое количество притоков, медленная скорость течения. Чаще всего реки вытекают из болот и озёр. Источниками питания им служат талые воды и дожди. Отмечается повышение уровня рек весной (до 70 %) и осенью (в меньшей степени), а летом реки мелеют. Во время разливов уровень реки Оки повышается до 10...13 метров, ширина разлива 4 км и более. В реке Клязьме подъем воды достигает до 6...8 метров, в реке Поле до 3,5 метров, в реке Пре до 2,5...4,8 метров. Половодье начинается 4...15 апреля и кончается 28 апреля...25 мая, продолжается от 20 дней до 1,5 месяца. Реки замерзают в конце ноября, вскрываются в начале апреля. Толщина льда колеблется от 30 до 70 сантиметров, некоторые реки промерзают до дна [44].

Реки часто выступают водоприемниками осушительных систем, могут быть использованы как источники воды для увлажнения осушенных торфяников.

### **Озёра**

Мещёрская низменность считается краем озёр и болот. Озёра низменности располагаются большей частью группами, имеются озёра и в пойме рек. Часто озёра соединяются между собой протоками и в них впадают речки.

На востоке Московской области находятся Шатурские озёра (Святое, Муромское и другие) и Туголесские озёра (Великое, Долгое, Глубокое, Маловское, Карасево, Воймежное, Свиношное и другие). На границе Московской и Рязанской областей находятся Радовицкие озёра (Щучье, Большое, Малое Микино и другие). На стыке всех трех областей в истоках реки Пры почти на 50 км протянулись

Клепиковские озёра, образуя Мещёрское озёрное кольцо. Крупнейшие из них – Святое, Дубовое и Великое. Есть также много небольших одиночных озёр.

Озёра Мещёрской низменности ледникового происхождения. Берега большинства озёр заросли травой и осокой. Постепенно зарастая, они превращаются в болота. Имеется на низменности и много пойменных озёр, которые являются остатками старых русел рек. Они также заболачиваются. Мещёрские озёра очень мелкие, средняя глубина озёр этой группы около 2 метров. Многие озёра связаны с окружающими болотами, от которых и получают питание.

Имеются на Мещёрской низменности и глубокие озёра глубиной до 50 и более метров. Считают, что они термокарстового происхождения. Дно у этих озёр песчаное, вода прозрачная. Например, озеро Белое в районе города Спас-Клепики Рязанской области [44].

### **Болота**

Болота на низменности тянутся почти непрерывной широкой полосой: в Подмосковной Мещёре это Шатурские и Радовицкие болота, Туголесский бор; во Владимирской – Гусевские; в Рязанской – Клепиковские и Солотчинские. Их местное название – «*мшары*» или «*омшары*» [44].

Огромные мшары расположены возле Клепиковских озёр, в районе поселков Криуша, Голованово, вдоль реки Пры и в границах Окского заповедника [44].

Примерно треть Мещёрской низины занимают торфяники, современные болота и заболоченные земли. В Мещёре преобладают болота низинного типа, которые подпитываются в основном грунтовыми водами, распространены также верховые болота. Низинные болота, сформированные в поймах рек, получают дополнительно талую воду. В низинных болотах нет сфагновых мхов. Основная растительность таких болот – осоки и болотное разнотравье (белокрыльник, касандра и др.). Обычен древесный ярус, в котором встречаются ольха, ивы, реже березы и сосны. Болота часто кочкарные. Растительность кочек – в основном, зеленые мхи и папоротники (обычно орляк). Высота кочек достигает 50...60 см. У низинных озер хорошее минеральное питание (подпитка грунтовыми водами), поэтому формируются болота быстро. Нарастает осоковый торф, содержащий

большое число минеральных (неорганических) частиц. Низинные болота формируются и на междуречьях, где заполняют озерные котловины. Часто озера зарастают сплавинами – от центра к периферии. При смыкании сплавин в центре озера происходит постепенный отрыв от грунтового питания, и центр такого болота заселяют сфагновые мхи; и оно превращается в верховое болото. Далее идет только нарастание моховой сфагновой подушки. Поверхность такого болота приобретает выпуклый профиль, так как в центре такого болота мхи растут лучше. Затем, постепенно сфагновые мхи смещаются к периферии котловины и выходят за ее пределы. Таким образом, на междуречье Пры и Оки формируются мшары – преимущественно верховые и переходные непрерывные массивы болот. Площадь таких мшар превышает сотни км<sup>2</sup> (Келецкое болото площадью около 200 км<sup>2</sup>).

Мощность торфяников в среднем около 2 м. Многие торфяники в Мещере выработаны, глубина выработки не превышает 3 м. В восточной части мощность торфа гораздо меньше – 1...1,5 м. Низинные торфяники иногда многослойны. Под слоем торфа располагается сапропель, ниже – пески, еще ниже – вновь слой торфа.

### **Подземные воды**

Грунтовые воды – это воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта. Региональным водоупором для них является кровля юрских глин, а локальным водоупором на междуречьях – днепровская морена. Глубина залегания грунтовых вод в Мещере – 1...5 м. Мощность водоносного горизонта колеблется от 5 до 15 м, так как толща песков лежит непосредственно на юрских глинах, а морена размыта. В западинах грунтовые воды вскрываются на глубине 2...3 м. Иногда на поверхности образуются мочажины. Уровень грунтовых вод подвержен сезонным колебаниям. Весной горизонт поднимается и местами выходит на поверхность, летом – они вскрываются на глубинах свыше 1,5 м, что говорит о сухом и часто жарком лете.

Там, где локальный водоупор – морена, мощность горизонта грунтовых вод невелика – 2...3 м. Они вскрываются на глубинах 2...8 м, в южной части области – до 12...15 м. Грунтовые воды в расчлененной части высачиваются в низ-

ких частях балок и долин, а в особо влажные годы приводят к тому, что по днищам балок текут ручьи, оплывают склоны. В сухие сезоны такого не наблюдается.

Грунтовые воды не образуют родников. Происходит рассредоточенное высачивание в виде мочажин. Там, где высачивание происходит на относительно плоских участках, формируются небольшие низинные болота. Это характерно для юга низменности. Нередко здесь днища балок заполнены торфом. Иногда такие торфяники выработаны.

В Мещерской низменности минерализация грунтовых вод составляет 0,2...0,3 г/л, то есть они ультрапресные или пресные. На Ковров-Касимовском поле воды не столь пресные (0,5 г/л), что связано с наличием известняков и карбонатных суглинков. Наличие ионов кальция и магния увеличивает жесткость воды.

На юге области, где также вскрываются известняки и/или с поверхности лежат карбонатные суглинки, минерализация достигает 0,5...0,6 г/л.

Грунтовые воды подвержены сильному антропогенному (бактериальному и механическому) загрязнению. На западе области все водоснабжение идет из грунтовых вод, а коммуникации канализационной системы не созданы.

В толще палеозойских (отчасти мезозойских) отложений вскрывается 5 горизонтов пресных межпластовых вод: касимовский, подольско-мячковский, каширский, окско-тарусский, заволжский. Самыми мощными из них являются окско-тарусский и каширский, приуроченные к трещиноватым известнякам. Поэтому воды имеют повышенное содержание карбоната кальция, а окско-тарусский – еще и ионы железа.

Запитка поверхностных вод в глубокие горизонты происходят в районе Окско-Цнинского вала из Оки, в районе Окско-Клязьминского вала около Елатьмы, на правом берегу р. Прони и в долине р. Цны. На этих территориях необходимо принять меры по уменьшению количества применяемых удобрений.

#### **1.4 Влияние осушения торфяников на водный режим**

В конце XIX века мелиоративная экспедиция под руководством генерала И.И. Жилинского начала работы по осушению болот Мещёры. Экспедиция рабо-

тала в течение 20 лет, мелиорация была проведена на 16 тысяч десятин земли, было прорыто более 60 вёрст основных каналов [37]. Осушительные работы активно продолжились после ВОВ.

Они оказали многогранное и неоднозначное влияние на осушаемые земли и прилегающие к ним природные объекты, на их использование в народном хозяйстве. В разные годы по мере развития осушительных работ и накопления опыта высказывались порой диаметрально противоположные мнения: от негативного эффекта до позитивного влияния осушения на прилегающие земли, на речной сток. Исследования последних лет (Б.С. Маслов) показывают, что осушение в целом благоприятно сказывается на улучшении плодородия и биологической продуктивности земель, доказана благоприятная тенденция в изменении речного стока, особенно в его качественном составе – уменьшении стока половодья и увеличении меженных расходов. Влияние осушения на прилегающие земли двояко: подсушка земель вблизи осушительных систем несколько меняет ценозы, уменьшает их разнообразие, но может привести к росту их продуктивности, изменяется характер почвообразования.

Понижение уровней грунтовых вод на прилегающих землях вызывает некоторые неудобства для хозяйственной деятельности: понижение уровней воды в колодцах питьевого водоснабжения, в прудах-копанях, снижение дебита водозаборных скважин, усиление ветровой эрозии и опасности пожаров в лесах, осушение оголовков свай в основании сооружений, снижающее их прочность из-за ускорения гниения.

Меняется гидрологический режим территории в целом: увеличивается приток грунтовых вод к осушаемым землям, несколько растёт речной сток, уменьшается капиллярное подпитывание корнеобитаемой зоны и исчезает промываемость почв. Следует отметить, что при обычной глубине осушительной сети не более 1...1,2 м и строго нормированном осушении понижение уровня грунтовых вод на прилегающих землях за исключением ближайшей узкой полосы невелико.

На самих осушаемых землях (болотах и заболоченных землях) принципиально изменяется водный режим. В результате осушения он, прежде всего, становится гораздо стабильней, почти полностью исключаются периоды полного насыщения пор влагой. Даже в самые влажные годы (с повторяемостью 1 раз в сто лет и реже) при нормально работающей осушительной сети может наступить некоторое временное переувлажнение, но болотный процесс уже не возвращается. На осушенных землях устраняется характерный болотный или глеевый процесс почвообразования, формируются особые осушенные торфяно-перегнойные почвы с повышенной промываемостью. В таблице 1.7 приведен пример изменения показателей водного режима низинных болот в результате осушения [22].

Таблица 1.7 – Среднемноголетние показатели водного режима на неосушенном и осушенном низинном болоте Мещерской низменности по данным Б.С. Маслова и расчетам А.И. Голованова

Показатели водного режима	На неосушенном болоте	На осушенном болоте
Весеннее увлажнение, мм	89	111
Атмосферные осадки летом, мм	317	317
Суммарное испарение, мм	382	353
Поверхностный сток летом, мм	36	0
Годовой приток	21	100
Годовой дренажный сток, мм	0	173
Накопление запасов, мм	-9	-2
Промываемость почвы, мм	-19	76
Средняя глубина ГВ, м	0,66	1,21
Средний годовой минимум ГГВ, м	0,33	0,97
Среднемноголетняя относительная продуктивность трав	0,47	0,98

На неосушенном болоте из-за малых глубин грунтовых вод не все атмосферные осадки могут впитаться в толщу торфа, поэтому помимо весеннего стока образуется поверхностный сток в летнее время. Суммарное испарение с неосушенного болота больше, чем с осушенного из-за большего увлажнения. По той же причине на неосушенном болоте наблюдается капиллярное подпитывание верхних слоев торфяной толщи со стороны грунтовых вод. В результате осушения и понижения уровня грунтовых вод оно заменяется промывкой почвенного слоя.

Осушение болота провоцирует значительный приток подземных вод с окружающих возвышенностей.

В условиях Мещерской низменности часто имеет место дефицит атмосферного увлажнения в теплый период года. Этот дефицит объясняет то, что на неосушенном болоте грунтовые воды в среднем залегают на глубине 0,6...0,7 м, но весной и в дождливые периоды лета они залегают вблизи поверхности земли. После осушения глубина грунтовых вод примерно равна норме осушения (около 1 м), опасного подъема уровня грунтовых вод не наблюдается.

На неосушенном болоте травосмеси, дающие корма невысокого качества, имеют низкую продуктивность из-за переувлажнения – примерно 50 % от максимальной, при осушении продуктивность приближается к максимальной, качество травосмеси повышается. Нормированное осушение не вызывает недопустимого иссушения почв в засушливые периоды. Это делает ненужным искусственное их увлажнение при нормированной глубине грунтовых вод порядка 1,0...1,2 м, что упрощает проект и снижает затраты [22].

На осушенных землях нужно применять особую систему земледелия (обработку, удобрения, сорта), создавая условия для выращивания приспособленных к свойствам осушенных земель высокопродуктивных культурных растений. Это имеет не только потребительское (экономическое), но и экологическое значение, так как плодородные почвы болот лучше выполняют свою природоохранную роль как биогеохимические барьеры, увеличивают устойчивость агроландшафтов.

При осушении земель в почвах и грунтах происходят существенные изменения в их составе и свойствах: уплотнение, биохимическое разложение, механическая и химическая суффозия и другие. Особенно большие изменения происходят в торфах. Вследствие удаления воды из торфа происходит уменьшение его объема, называемое *усадкой* торфа, в результате чего понижается поверхность земли. Само понижение поверхности земли называют *осадкой*, которая происходит очень неравномерно по площади и во времени, зависит от мощности, вида, свойств торфа, величины снижения уровня грунтовых вод и может составлять до-



вольно большие величины: для плотного торфа 12...15 %, для рыхлого 25...40 % его первоначальной мощности.

При сельскохозяйственном использовании в результате осушения, обработки почвы, ускоренного аэробного биологического и химического разложения и выноса питательных веществ с урожаем происходит *сработка* торфа. Она зависит от характера сельскохозяйственного использования земель, максимальна под пропашными культурами, минимальна под травами. При длительном сельскохозяйственном использовании торфяников их толщина может сработаться до минерального дна.

Так, по данным Минской болотной станции на одном гектаре пашни под зерновыми ежегодно разрушается (минерализуется) 6...7 т сухого органического вещества, под пропашными – свыше 10 т, а под травами только 3 т. В Украинском Полесье (лесостепная зона с более теплым, чем в Белоруссии, климатом) минерализация торфа идет более интенсивно и достигает 13...15 т/га под пропашными культурами и 6...7 т/га под травами [22].

Необходимо предусматривать специальные мероприятия по сохранению торфа (севообороты с заметной около половины доли многолетними травами, с соответствующим сокращением площади под пропашные культуры, внесение органических удобрений, разумную минимизацию осушения) и мероприятия направленные на борьбу с пожарами на торфяниках, представляющих большую опасность для жизни и здоровью людей и животных.

Переосушенный незащищенный торфяник легко развевается ветром (ветровая эрозия) и размывается при сильных дождях (водная эрозия). Растет риск пожаров. Таким образом, надлежащая система земледелия на осушенных торфяниках имеет важное экологическое значение.

На это указывал и Ф.Р. Зайдельман. Так, в работе «Проблемы, последствия и защита осушаемых торфяных почв от пожаров» [31] он говорил: «Необходимо принципиально изменить современный характер использования осушаемых торфяных почв; запретить черную культуру земледелия. Превратить осушаемые тор-

фяные почвы в зеленые угодья, занятые многолетними травами, и на этой основе развивать животноводство».

Ненужное ускоренное разложение торфа – это не только потеря ценнейшей органики, но и дополнительное загрязнение рек из-за повышенного вымывания азотных соединений, фосфора, калия, кальция, магния, микроэлементов. В среднем с дренажными водами с одного гектара выносится за год около 50 кг азота, 60 кг кальция.

Надо обязательно оценивать вынос этих веществ в реки. Необходимы мероприятия по его снижению (применять биоплато в устье магистрального канала, отстойники, фильтрующие перемычки с сорбентами для удержания пестицидов, тяжелых металлов, радионуклидов, нефтепродуктов). Имеет большое значение регулирование местного стока с возвышенностей (вспашка поперек склона, посев трав, защитные лесонасаждения, строительство малых водоемов и другие известные мероприятия, применяемые при борьбе с водной эрозией).

При осушении уменьшается коэффициент фильтрации торфа, особенно в вертикальном направлении, что необходимо учитывать при расчете дренажа.

При осушении минеральных переувлажненных почв уменьшается их плотность на 10...20 %, увеличивается пористость на 5...10 %, возрастает водопроницаемость и влагоемкость. При осушении и окультуривании благоприятно изменяются агрохимические показатели – уменьшается кислотность, улучшается состав ППК (почвенно-поглощающий комплекс), элементы питания растений переходят в доступные формы. Изменение водно-физических свойств почв и грунтов необходимо учитывать при проектировании осушительных систем, изменение агрохимических характеристик почв влияет на оценку земель [22].

В таблице 1.8 приведена дальность влияния осушения на уровни грунтовых вод на прилегающих землях для разных условий.

При нормированном осушении (на глубину около 1...1,1 м) и при небольшой проводимости пластов влияние осушения на глубину грунтовых вод незначительно, излишнее заглубление осушительной сети нежелательно.

Таблица 1.8 – Дальность влияния осушения на уровни грунтовых вод (по расчетам А.И. Голованова [39])

Варианты расчета			Дальность влияния осушения, м	Понижение УГВ у ловчего канала, $\Delta H_{0,м}$
$kT$ , м <sup>2</sup> /сут	$\Delta_0$ , м	$H_{лк}$ , м		
15	1	1,2	300	0,50
15	1	1,7	500	0,55
60	5	1,2	350	0,60
60	5	1,7	600	0,90
140	5	1,2	1200	0,60
140	5	1,7	2100	1,05
140	1	1,2	1300	0,50
140	1	1,7	1800	0,90
140	15	1,2	1400	0,65
140	15	1,7	2300	1,15

Примечание:  $kT$  – водопроницаемость грунтов;  $\Delta_0$  – расчленение рельефа;  $H_{лк}$  – глубина ловчих каналов

Для уменьшения неблагоприятных экологических последствия осушения необходимо:

- не допускать чрезмерного осушения болот, руководствоваться общепринятыми нормами осушения с учетом вида сельскохозяйственного использования, выращиваемых культур, почвенно-гидрологических условий;

- ограничивать глубину дрен на осушаемом массиве (идти на минимальные их уклоны) и оградяющих каналов; глубины ловчих каналов 1,5...1,7 м представляются излишними, экологически допустимыми их глубинами являются порядка 1,2...1,4 м; не заглублять без необходимости проводящие каналы, в том числе, магистральные и особенно реки-водоприемники. В последнем случае надо идти на осушение с механическим подъемом, то есть строить польдерные системы с более активным регулирование глубин грунтовых вод. Удорожание строительства и эксплуатации таких систем компенсируется эффектом от сохранения природы – предусматривать на осушенных землях увлажнение в засушливые периоды путем шлюзования оградяющей и регулирующей сетей каналов и дрен, это повышает продуктивность осушенных земель и снижает переосушку приле-

гающих водосборов; обеспечивает противопожарную безопасность[39]. Исследования таких осушительно-увлажнительных систем проводятся в последние годы в Мещерском филиале ВНИИГИМ под руководством доктора технических наук профессора П.И. Пыленка;

– на прилегающих к осушенным болотам землях предусматривать сокращение поверхностного стока путем его задержания на склонах, увеличения впитывающей способности почвы, строительства прудов и противопожарных емкостей, создания лесных насаждений, вспашки поперек склона, бороздования и других противоэрозионных и противопожарных мероприятий, то есть компенсировать негативные последствия осушения, обустривая надлежащим образом прилегающие земли [22].

### **1.5 Растительный мир**

Мещёра была некогда частью единого лесного массива, который простирался от муромских лесов до Польши. В дальнейшем в результате уничтожения леса, расширения пахотных земель и пожаров площадь лесных массивов значительно сократились.

Смешанными лесами покрыто более 50 % площади низменности, по долинам крупных рек – луга [44] с высокой биологической продуктивностью и отличным качеством сена, особенно в пойменных расширениях крупных рек. На песках расположены сосновые боры, по низменным местам – дубовые леса, на вырубках и гарях растут береза и осина, на водоразделах – ель, встречаются ольха, рябина. Сосновые боры в Мещёре бывают двух типов: с подстилкой из лишайника и с подстилкой из брусники и черники. В лесах и лугах много земляники, голубики, малины, клюквы, калины, крушины, шиповника, облепихи, чёрной смородины, грибов (дубовики, рыжики, подосиновики, подберёзовики, лисички, сыроежки, маслята, моховики, луговые шампиньоны и др.), много орешника.

### **Хозяйственное освоение**

В настоящее время основным занятием населения является сельское хозяйство: мясомолочное животноводство и птицеводство. Развиты торфоразработ-

ка, дереворазработка и переработка. Работают строительные карьеры, добывают песок, глину, камень. Имеются предприятия стекольной промышленности. Проводятся работы по осушению и сельскохозяйственному освоению заболоченных земель [44].

Большие площади, оставшиеся после добычи торфа не рекультивированы и служат очагами возгорания. Местные власти пошли по легкому пути их затопления (рисунок 1.6) вместо рекультивации и возвращения в культурное использование.



Рисунок 1.6 – Затопленные торфоразработки Гусевского торфопредприятия

Исследованию параметров шлюзования осушительной сети и её эффективности в разные по сухости годы посвящена данная работа.

### **1.6 Ландшафтный очерк Мещерской низменности**

Очерк составлен по работам (Ландшафты Владимирской области. Ландшафты Мещерской провинции) и (Ландшафты Московской области и их современное состояние) [13, 34, 48].

Мещерская низменность – это лесная низкая заболоченная равнина, развитая в междуречье средних течений Оки и Клязьмы. На северо-западе она граничит со Смоленско-Московской возвышенностью, на юге – со Среднерусской возвышенностью и Окско-Донской равниной, на востоке – с северной частью Окско-

Цнинского вала, геоморфологически выраженного как Окско-Клязьминское поднятие.

Характеризуется плоским рельефом с крайне малыми углами склонов, незначительными превышениями водораздельных пространств над днищами рек и близким к поверхности залеганием грунтовых вод, что из-за резко ослабленного грунтового дренажа и крайне затрудненного поверхностного стока в сочетании с играющими роль регионального водоупора верхнеюрскими морскими глинами обусловило широкое развитие болот в понижениях рельефа. Отметки дневной поверхности изменяются в интервале 92...171 м. Наиболее распространенные отметки приходятся на интервал 120...140 м.

В геолого-тектоническом отношении Мещерская низменность сформировалась на месте огромной эрозионной депрессии, образованной в каменноугольных отложениях юго-западного крыла Московской синеклизы. Депрессия выстлана толщей верхнеюрских морских глин, перекрытых сильно размытыми песчано-глинистыми отложениями нижнего мела, и заполнена плейстоценовыми ледниковыми песчано-глинистыми отложениями, обеспечившими ей статус ледниковой равнины.

Характерной ландшафтной особенностью Мещерской низменности является взаимопроникающее сочетание песчаных междуречий, озерных низин, торфяных болот и сосновых лесов. На возвышениях на песчаных грунтах под сосновыми лесами развиты подзолистые почвы, в понижениях, занятых озерно-болотными массивами и поймами рек, формируются болотно-торфяные и аллювиально-болотные почвы. Сельскохозяйственное освоение территории незначительное с преобладанием использования территории под сенокосы и пастбища. На значительных площадях природное состояние ландшафтов нарушено поверхностной добычей торфа.

Около половины территории Мещерской низменности принадлежит Московской области (Московская Мещёра), около одной трети находится в Рязанской области (Рязанская Мещёра), около одной шестой – во Владимирской области (Владимирская Мещёра) [48] (рисунок 1.7).

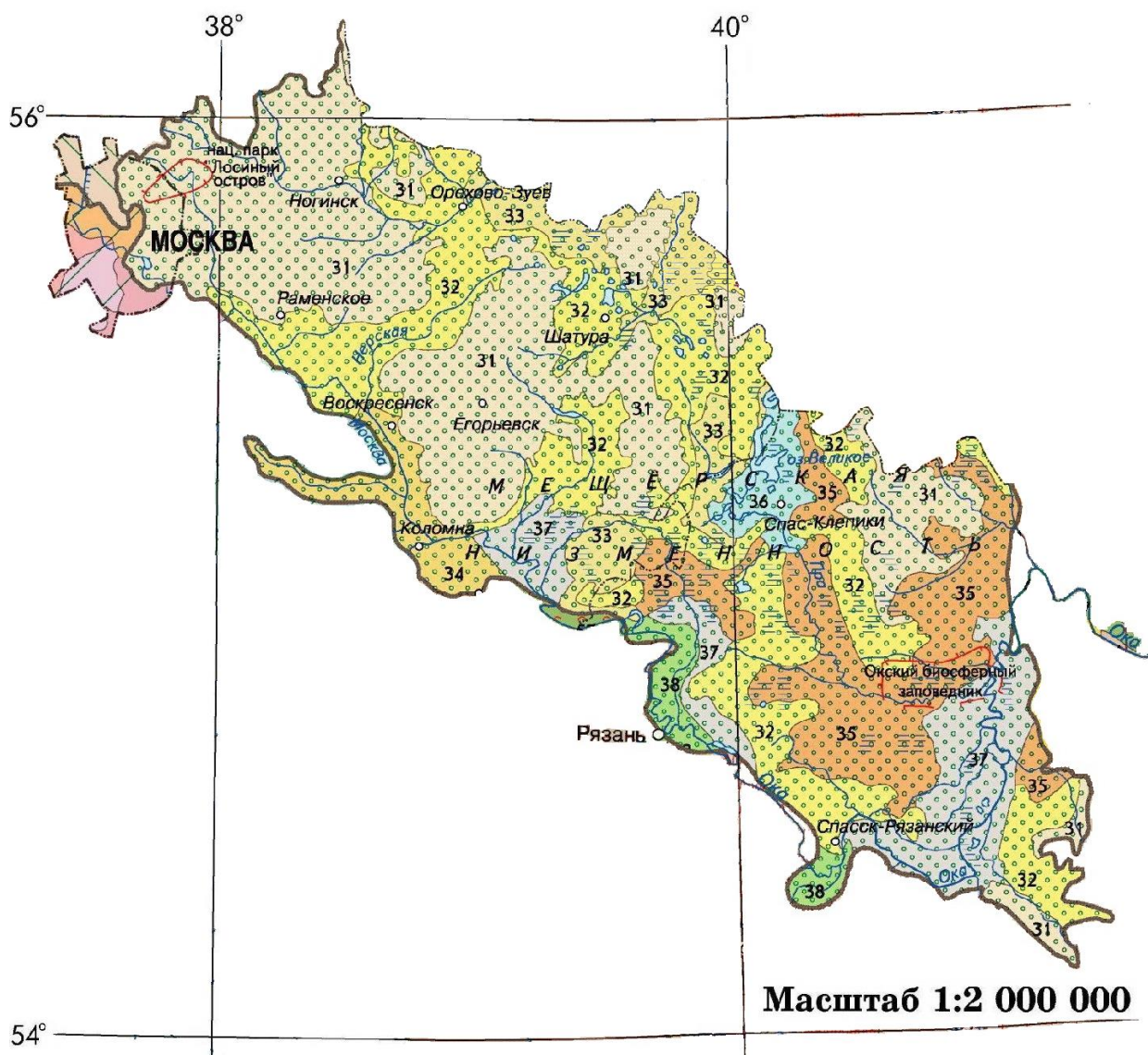


Рисунок 1.7 – Округа Мещерской низменности [14,37]: 31 – моренно-водно-ледниковые, 32 – водно-ледниковые, 33 – водно-ледниковые и древнеаллювиально-водно-ледниковые, 34 – водно-ледниковые, древнеаллювиально-водно-ледниковые и древнеаллювиальные, 35 – древнеаллювиально-водно-ледниковые, 36 – озерные и водно-ледниковые, 37 – древнеаллювиальные и аллювиальные, 38 – аллювиальные

### Ландшафты Московской Мещёры.

#### 31 округ «Моренно-водноледниковые ландшафты»

Район 55 «Ландшафты моренно-водноледниковых, пониженных, плоских, замедленно дренированных равнин»

Район представлен индивидуальными ландшафтами, расположенными в краевых, пониженных частях выступов коренных пород, кровля которых на повышениях сложена песками нижнего мела, а в понижениях – глинами юры. Преобладающие абсолютные высоты 130...140 м. В этот район входят ландшафты:

- Вялковский,
- Ново-Николаевский.

Район 56 «Ландшафты моренно-водноледниковых слабоволнистых и плоских, влажных и сырых равнин»

Эти ландшафты приурочены к невысоким поднятиям в днище Шиловско-Владимирского прогиба. Кровля коренных пород образуют нижнемеловые пески и алевроиты с прослоями глин или юрские глины с прослоями песков. Перекрывающая их морена представлена бурыми сильно перемытыми маломощными суглинками. Местами они размыты. Мощность водноледниковых отложений (перекрывавшие морену) колеблется от 0,5 до 8...10 м и различны по механическому составу. В этот район входят ландшафты:

- Мишеронский,
- Черустинский.

Район 59 «Ландшафты моренно-водноледниковых, пониженных, неравномерно дренированных равнин»

Во всех этих ландшафтах мощность надморенных водноледниковых отложений сильно колеблется (0,5... 3 м, а местами до 7,5 м). Кровля коренных отложений сложена на повышениях нижнемеловыми песками, в понижениях – глинами юры. В этот район входят ландшафты:

- Бисеровский,
- Павлово-Посадский,
- Хорловский,
- Губастовский.

Район 60 «Ландшафты моренно-водноледниковых, плоских и волнистых, влажных и сырых равнин»



В этих ландшафтах преобладают абсолютные высоты в 140...150 м. Краевые части поднятий коренного фундамента сложены по повышениям песками с прослоями глин нижнего мела, а по понижениям – глинами с прослоями песков юры. Рельеф слабоволнистый и плоский с отдельными холмами. Увлажнение почв повышенное. В этот район входят ландшафты:

- Щелковский,
- Электроугльский.

Район 61 «Ландшафты возвышенных, волнисто-холмистых и холмистых, моренно-водноледниковых, днепровских и московских, неоднородно дренированных равнин»

Ландшафты приурочены к наиболее повышенным междуречным участкам Московской Мещеры, которые совпадают с выступами коренного фундамента. Кровлю их на разных участках образуют глины юры, пески нижнего мела или известняка с прослоями глин карбона. Преобладает холмистый рельеф, сложенный с поверхности водно-ледниковыми песками, часто каменистыми (0,3...1,5), подстилаемыми мореной. Не исключено, что в их центральных частях на поверхность выходит днепровская морена. В этот район входят ландшафты:

- Егорьевский,
- Гжельский,
- Лузгаринский.

### **32 округ «Ландшафты водно-ледниковых равнин»**

Район 62 «Ландшафты водно-ледниковых, слабоволнистых, влажных и сырых равнин»

Эти ландшафты расположены на склоне Рязано-Костромского прогиба и приурочены к эрозионным ложбинам в кровле рельефа поверхности карбона, заполненным юрскими отложениями. В этот район входят ландшафты:

- Нерский,
- Цнинский.

Район 65 «Ландшафты слабоволнистых, волнисто-бугристых и плоских, водно-ледниковых равнин»

Рельеф поверхности коренных пород колеблется от 80...90 до 105...115 м. Кровлю коренных пород слагают меловые пески, часто с прослоями глин, алевроитов и юрскими глинами с прослоями песков. В понижениях морена размыта почти полностью. В этот район входят ландшафты:

- Шатурско-Воймежнинский,
- Радовицкий,
- Селецкий.

### **33 округ «Ландшафты водно-ледниковые и древнеаллювиально-водно-ледниковые»**

Район 66 «Ландшафты долинно-зандровых, слабоволнистых и плоских, неравномерно дренированных равнин»

Среди ландшафтов Восточного района Московской Мещеры долинно-зандровые занимают наибольшую площадь. Все три ландшафта этого вида продолжают в Рязанской области. Водно-ледниковые отложения представляют чаще всего мелко- и тонкозернистые пески чередуются с тонкими прослоями суглинков, которые приводят к застою вод и оглеению почв. Кровлю рельефа коренных пород образуют отложения юры и нижнего мела. Для всех долинно-зандровых ландшафтов характерны ПТК, совмещенными с плоскими заболоченными участками междуречий, объединенными сетью ложинообразных понижений в единую сложную систему. В этот район входят ландшафты:

- Поля-Клязминский,
- Строганецкий,
- Криушинско-Шехминский.

### **34 округ «Ландшафты водно-ледниковые, древнеаллювиально-водно-ледниковые и древнеаллювиальные»**

Район 67 «Ландшафты водноледниковых, древнеаллювиально-водноледниковых

и древнеаллювиальных, слабоволнистых и плоских, ступенчатых, преимущественно свежих равнин»

Район окаймляет нижнее течение Москва-реки, среднее и нижнее течение реки Северки и небольшой отрезок реки Оки. Его обособление связано с выступом известняков карбона, образующих здесь кровлю рельефа коренных пород. Создающий относительно сухой облик. В этот район входит ландшафт:

- Песковско-Луховицкий.

### **37 округ «Ландшафты древнеаллювиальные и аллювиальные»**

Район 71 «Ландшафты древнеаллювиальных и аллювиальных влажных, сырых и заболоченных равнин»

В Московскую Мещеру попадает небольшая часть ландшафта водно-ледниково-озерных равнин, основной массив которого находится в Рязанской Мещере. Опущенный цоколь из коренных пород образован юрскими глинами с прослоями песков и пятнами мела. В этот район входят ландшафты:

- Клепиковский ландшафт,
- Дединовско-Шьянский.

## **Ландшафты Рязанской Мещёры**

### **31 округ «Моренно-водно-ледниковые ландшафты»**

Район 56 «Моренно-водно-ледниковые ландшафты»

Литогенной основой района являются безвалунные суглинки местами с прослоями песка, в краевых частях - наморенные пески. В него входит ландшафт:

- Тумский.

### **32 округ «Ландшафты водно-ледниковых (зандровых) равнин»**

Район 64 «Ландшафты слабоволнистых, волнисто-бугристых и плоских, водно-ледниковых равнин»

Район, принадлежит к верхней гипсометрической ступени дочетвертичного рельефа, на котором преобладают поверхности грядово-бугристых песков, бугристых песков и обширные заболоченные пространства (мшар). В ландшафтах пески подстилаются мореной. В данный район входят ландшафты:

- Радовицкий,
- Бахметьевский,
- Головановский,
- Гусевско-Колпинский.

Район 65 «Ландшафты слабоволнистых, волнисто-бугристых и плоских, водно-ледниковых равнин»

Ландшафты, принадлежащие к нижней гипсометрической ступени, в которых большую площадь занимают слабоволнистые поверхности наряду с заболоченными котловинами – заболоченные западины. Морена на этой ступени полностью размыта, пески ложатся прямо на отложения юры и нижнего мела и потому эти ландшафты сильнее увлажнены. В данный округ входят ландшафты:

- Селецкий,
- Келецкий.

### **33 округ «Ландшафты водно-ледниковые и древнеаллювиально-водно-ледниковые»**

Район 66 «Ландшафты долинно-зандровых и зандровых равнин»

Кровля рельефа коренных пород сложена песками и песками с прослоями суглинков, подстилаемыми мореной. В этот район входят ландшафты:

- Белоомутский,
- Строганецкий.

### **35 округ «Ландшафты древнеаллювиально-водно-ледниковых (долино-зандровых) равнин»**

Литогенная основа округа представлена слоистой толщей песчано-суглинистых отложений, с частым чередованием прослоев разного механического состава. На поверхности распространены останцы зандровых равнин преимущественно грядово-бугристых с котловинами, занятыми верховыми болотами. Данный округ занимает транзитное положение между округами зандров и долин.

Район 69 «Древнеаллювиально-водноледниковые ландшафты»

В этот район входят ландшафты:

- Чирятинский,
- Гусевско-Куршинский.

#### Район 70 «Ландшафты долино-зандровых равнин»

В данный район входят ландшафты:

- Криушинско-Шехминской,
- Пранский.

### **36 округ «Озерно-водно-ледниковые ландшафты»**

#### Район 71 «Ландшафты зандрово-озерных равнин»

На формирование верхней части литогенной основы решающее влияние оказало положение в днище Центральной ложбины стока талых ледниковых вод, которое унаследовало дочетвертичное эрозионное понижение. Это привело к полному размыву днепровской морены и к накоплению мощной толщи флювиогляциальных, преимущественно песчаных отложений раннемосковского возраста, которые во вторую половину московского времени были размывы. Сохранились лишь отдельные участки зандров, связанные с выступами рельефа коренных пород. В понижениях между ними образовался озерный водоем, который был спущен к голоцену. Современные озера (Великое, Сокорево, Мартыново, Ивановское, Белое-Бутыковское, Дубовое и др.) – остатки этого большого бассейна. В округ входит ландшафт:

- Клепиковский.

### **37 округ «Древнеаллювиальные и аллювиальные ландшафты»**

#### Район 74 «Ландшафты наложенных аллювиальных равнин»

Район занимает территорию в ответвлении второго порядка, осевой части, понижение в краевой части Рязано-Костромского прогиба. Коренные породы представлены песками и глинами. Четвертичную толщу слагает песчаный аллювий. Аллювиальные пески иногда содержат прослой суглинков или тонкие прослой торфа. В район входят ландшафты:

- Солотчинский,
- Шумашьский,

- Ижевский,
- Гавриловский.

#### Район 72 «Ландшафты сегментно-гравистых, гравистых аллювиальных равнин»

Район протягивается вдоль склона Окско-Цнинского вала. Кровля карбона Ерахтурского ландшафта неровная и представлена глинами, суглинками и песками юры или мела. Коренные породы карбона Рубецкого ландшафта (на правобережной пойме – известняки, на левобережной – пестроцветные глины, мергели, известняки) залегают на глубине 12...17м. Перекрывающий их аллювий представлен средними суглинками, подстилаемыми тонкозернистыми песками. Район состоит из ландшафта.

- Ерахтурский,
- Рубецкий.

#### Район 75 «Ландшафты островных аллювиальных равнин»

Район расположен на склоне к Рязано-Костромскому прогибу, кровли известняков карбона понижена на северо-восток (2,8...5,5 м на 1 км). Известняки перекрыты толщей рыхлых отложений юры и мела, залегающими на глубине 16...25 м, представленных суглинками и песками. В район входит ландшафт:

- Санский.

### **38 округ «Аллювиальные ландшафты»**

#### Район 76 «Ландшафты наложенных, островных, карстовующихся аллювиальных равнин»

Район приурочен к понижению в южной, юго-западного, западной части Рязано-Костромского прогиба. Кровля коренных пород представлена в основном песками с разными прослойками. Поверхностные аллювиальные отложения состоят из суглинков с прослоями песка. Казарский ландшафт приурочен к склону поднятия палеозойских пород. Коренные породы карбона этого ландшафта являются в основном известняки. В район входят ландшафты:

- Пронско-Спасский,
- Федякинский,

- Коростовский,
- Кузьминский,
- Казарский ландшафт.

### **Ландшафты Владимирской Мещёры**

Ландшафты Мещерской низменности на территории Владимирской области расположены на ее юго-западном секторе и объединены в ландшафтный округ, который имеет единую коренную геоморфологическую основу – сильно размытые песчаные нижнемеловые породы, подстилаемые водоупорной мощной толщей морских верхнеюрских глин, выходящих в кровле коренных пород в глубоких эрозионных врезках, заполненных четвертичными отложениями. Кровля коренных пород залегает на отметках 100...120 м и сложена нижнемеловыми песчано-глинистыми породами. В отдельных глубоких погребенных эрозионных врезках кровля коренных пород опускается до 65...80 м и вскрывает залегающие под нижнемеловыми отложениями морские верхнеюрские глины.

Мощность четвертичного покрова, перекрывающего коренные породы, составляет 10...50 м. Четвертичные породы представлены среднеплейстоценовыми днепровскими моренными валунными суглинками и водноледниковыми песками, верхнеплейстоценовыми и голоценовыми аллювиальными пойменно-террасовыми и озерно-болотными отложениями.

Характерно близкое расположение к поверхности застойных грунтовых вод, что обуславливает сильную заболоченность понижений рельефа. Эти понижения сочетаются со страдающими от безводья песчаными повышениями [48].

В пределах Владимирской области в ландшафтном округе Мещерской низменности по особенностям рельефа, литологии, возрасту и генезису четвертичного покрова выделяют ландшафты:

#### Район 1 «Ландшафт среднеплейстоценовой зандровой равнины»

Кровля коренных пород слагаются в его приклязьминской части верхнеюрские глины, а на междуречьях – нижнемеловые песчаные отложения. Мощность четвертичного чехла, представленного песчаными водно-ледниковыми и

аллювиальными отложениями, достигает 30 м. Днепровская морена размыта. Покровные суглинки отсутствуют. В район входит ландшафт:

- Киржачский ландшафт.

Район 2 «Ландшафт заболоченной аллювиальной верхнепалеоценово-голоценовой равнины»

Район образован современной поймой, первой и второй надпойменными террасами средней р. Клязьмы и расположен на правом берегу р. Клязьмы. Кровля коренных пород образована нижнемеловыми песчаными отложениями с прослойками глины в долинах мелких рек и междуречий, верхнеюрскими глинами в днищах долин реки Клязьмы и ее крупных притоков. В район входит ландшафт:

- Ландшафт «Среднеклязьминское полесье».

Район 3 «Ландшафт пологоволнистой днепровской моренно-водноледниковой равнины»

Район занимает бассейн р. Бужа с притоком р. Поль. Кровля коренных пород сложена преимущественно нижнемеловые песчано-алевроитовые, а иногда местами отложениями с прослоями глины. Коренные породы перекрыты четвертичными моренными и моренно-водноледниковым суглинками, водноледниковыми песками, озерно-болотными и аллювиальными отложениями. Морена в основном представлена суглинками. В район входят ландшафты:

- Ландшафт "Бужское Высокорежье",
- Островской ландшафт (моренно-островная Мещёра),
- Мезиновско-Иванищевский болотно-торфяной ландшафт,
- Ландшафт «Низины Великих озер»,
- Уршельский ландшафт,
- Тальновский ландшафт.

Район 4 « Ландшафт моренно-водноледниково-озерно-аллювиальной равнины с плавным рельефом»

Расположен в верховье бассейнов рек Гусь и Колпь-Гусевская. Кровля коренных пород в пределах днищ долин представлена верхнеюрскими глинами, на



склонах долин и междуречьях – нижнемеловыми песчаными породами. На крайнем востоке, на границе с Окско-Цнинским валом, в днище долины Колпи-Гусевской выходят верхнекаменноугольные доломиты и известняки. Четвертичный покров представлен водноледниковыми песками, которые подстилаются моренными валунными суглинками. В район входит ландшафт:

- Ландшафт "Гусевская Мещёра"

Сотрудники кафедры ландшафтоведения МГУ имени М.В. Ломоносова выделили на территории Мещерской низменности 59 индивидуальных ландшафтов. О степени расчлененности территории можно судить по средней площади ландшафта: при общей площади Мещерской низменности около 26000 км<sup>2</sup>, средняя площадь ландшафта составляет 441 км<sup>2</sup>. Для сравнения при площади Московской области 46000 км<sup>2</sup> (без территории Москвы в старых границах по МКАДу), та же кафедра выделила 103 индивидуальных ландшафта при средней площади около 450 км<sup>2</sup> ( $46000/103=446$ ), то есть расчлененность Мещерской низменности примерно совпадает с расчлененностью земель Московской области, хотя рельеф и высоты в разных местах области неодинаковы.

## 1.7 Выводы по главе 1

1. Климат Мещерской низменности – умеренно-континентальный с холодной зимой и умеренно тёплым, а иногда и жарким летом. На погоду Мещёры влияют локальные циклонические процессы, циклоны преимущественно двигаются с северо-запада на юго-восток и наоборот. Они формируют в течение лета жаркие сухие и теплые влажные периоды. Амплитуда колебаний дефицитов увлажнения теплого периода за 53 года достигает 673 ... 827 мм (таблица 1.6) при среднемноголетней сумме атмосферных осадков за теплый период около 321 мм ... 372 мм (таблица 1.1...1.5).

2. Мещерская низменность – это лесная низкая заболоченная равнина, развитая в междуречье средних течений Оки и Клязьмы. Она располагает большими заторфованными массивами, часть которых выработана на топливо, но не рекультивирована. На значительной территории торфяники осушены и использу-

ются как ценные сельскохозяйственные угодья. Осушение ведется недостаточно продумано, в засушливые периоды жарких лет торфяник избыточно осушен, предлагается создание осушительно-увлажнительных гидротехнических систем, но построено их мало. Стихийное затопление выработанных карьеров без рекультивации представляется нецелесообразным.

3. На территории Мещерской низменности кафедрой ландшафтоведения МГУ имени М.В. Ломоносова выявлено 25 ландшафтных районов и 59 индивидуальных ландшафтов со средней площадью около 450 км<sup>2</sup> и дано их описание, использованное нами при корректировке математической модели «Шлюзование».

## ГЛАВА 2 ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТОРФЯННИКАХ. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПОЖАРАМИ

### 2.1 Причины и опасности торфяных пожаров. Процесс самовозгорания

Площадь болот составляет 2,1% территории земного шара (2,6 млн км<sup>2</sup>) [47]. В России болотами и заболоченными землями занято около 12% территории [12, 55].

Площадь торфяных месторождений занимает в РФ 647,6 тыс. км<sup>2</sup>, в которых запас торфа оценивается величиной 150...162 млрд. т (при заторфованности 3,7 %) [55, 11]. Общие запасы торфа на территории Российской Федерации оцениваются в размере 162,7 млрд тонн торфа 40% влажности [26]. Мощность торфяных залежей достигает 4... 6 м, а иногда и 10 м [12, 60].

Месторождения торфа в РФ сосредоточены на Северо-западе нечерноземной зоны Европейской части страны, на Дальнем Востоке, в Западной Сибири (100 млрд. т). В Московской области болотами когда-то было занято 30% территории. В настоящее время в области имеется 1700 месторождений торфа (239 млн. т торфа) [11, 60, 58, 54, 53]. В Мещерской низменности около 20% территории заболочено [32].

Сам по себе торф – это горючее полезное ископаемое. Он содержит в себе горючие элементы такие как: углерод 50...60 %, водород 5...6,5 %, кислород 30...40 %, азот 1...3 %, сера 0,5 ...2,5 % органической массы. В органической массе торфа содержатся водорастворимые вещества – 1...5%, битумы – 2...10 %, легкогидролизуемые соединения – 20...40 %, целлюлоза – 4...10 %, гуминовые кислоты – 15...50 %, лигнин – 5...20 % [23, 28].

В России ежегодно происходят лесные и торфяные пожары. По статистическим данным МНР РФ, их количество составляет 10 ... 35 тысяч, охватывающих площадь 0,35 ... 2,5 млн га [23, 26].

Непосредственной причиной возникновения лесных и торфяных пожаров в большинстве случаев является деятельность человека. Например: неосторожное обращение с огнем, палы (выжигание) сухой прошлогодней травы, оставленные

без присмотра костры, брошенные спички и окурки, тлеющие пыжи из горючих материалов, искры из неисправных глушителей мотоциклов и автомобилей. Также источником может быть и природные факторы: пожары от молний, самовозгорание, разряды статического электричества [21]. По данным МПР РФ 14% лесных и торфяных пожаров возникает от природных факторов, а остальные по вине человека [26].

Механизм горения торфа в основном гетерогенный беспламенный. Торфяная масса содержит в порах некоторое количество воздуха, в связи с чем тлеющее горение может протекать в изолированных условиях практически без доступа кислорода [59]. Поэтому очаг возгорания торфяного пожара тяжело обнаружить, так как вначале горения торфа не возникает плотного дымового облака или дымовой колонки. Отдельные загорания выглядят тлеющими, создают иллюзию самоликвидации после наступления дождливой погоды [6]. Пожары распространяются со скоростью до нескольких метров в сутки и охватывают большие территории. Торф может гореть во всех направлениях независимо от направления и силы ветра, а под почвенным горизонтом он горит и во время умеренного дождя, снегопада, прогорая на всю глубину залегания до минерального дна, которая может достигать 6...8 м [21]. При прогорании торфа формируются каверны (пещеры) глубиной до минерального дна. При этом верхний напочвенный слой может оставаться несгоревшим. Это обстоятельство затрудняет определение границы подземного пожара [59] и создают опасность, так как в них могут проваливаться дороги, дома, машины, люди, животные и техника, которая должна ликвидировать пожар [59].

Торфяной пожар сопровождается плотным задымлением, выделением вредных веществ и интенсивным тепловым излучением [24]. В результате термической деструкции торфа образуются продукты полного горения торфа ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , зола) и неполного горения торфа ( $\text{CO}$ ), а также продукты полного и неполного окисления, пиролиза торфа – метан ( $\text{CH}_4$ ), водород ( $\text{H}_2$ ), сажа, закись азота, дым [28]. Они задымляют атмосферный воздух, усиливают парниковый эффект (таблица 2.1), вызывая повышение температуры в приземном слое, негативным обра-

зом влияют на окружающую среду и здоровье человека, ухудшая работу сердечно-сосудистой системы и органов дыхания, их высокие концентрации могут привести к увеличению смертности [21].

Таблица 2.1 – Выбросы парниковых газов при пожаре в естественной и торфяной залежи [28]

Наименование парниковых газов	Средние показатели выбросов, т/м <sup>3</sup>			
	естественной торфяной залежи		осушенной торфяной залежи	
	тип торфяного месторождения			
	верховой	низинный	верховой	низинный
СО <sub>2</sub> (диоксид углерода)	0,19	0,2	0,33	0,35
СН <sub>4</sub> (метан)	0,0006	0,00064	0,0011	0,00113
N <sub>2</sub> O (закись азота)	0,000003	0,000003	0,0000051	0,0000053

Самые крупные пожары были в экстремальном по сухости 1972 году. Этот год был с повышенной солнечной активностью, дефицитом снега, весенней влаги и отсутствием дождей весной и летом, температура воздуха доходила до 35...36 °С (таблицы 1.1...1.6). Пожары охватили более десятка областей в центральной части страны на площади в 1,8 млн. гектаров. Возникло более 40 тысяч лесных и торфяных пожаров. В тушении пожаров принимало участие около 360 тыс. человек, в Подмосковье приняло участие более 70 тыс. человек, в том числе 24 тыс. военнослужащих. К борьбе с пожарами были привлечены рабочие, колхозники, милиция, стянута землеройная техника, насосные установки, транспортные средства. Была организована воздушная разведка всех лесов на Европейской части РФ. В тушении также участвовали пожарные части МВД, к тушению привлекали студенческие стройотряды.

Всего было задействовано около 15 тысяч землеройных машин, а также более 2500 пожарных автомобилей и насосных устройств, техника работала по 14...20 часов в сутки. Военными трубопроводчиками было развёрнуто около 300 линий полевых магистральных трубопроводов протяжённостью около 1300 км. К 10 сентября они были ликвидированы. Дотушивание продолжалось до конца сентября.

В 2005 году на территории Московской области было зафиксировано 236

крупных торфяных и лесоторфяных пожаров на общей площади 98,7 га, в 2007 году – 526 пожаров на площади 168 га, то есть примерно 2,5...4 пожара на гектар. Большой ущерб был причинен природными пожарами в 2010 году. Только в Московской области, где территория довольно урбанизирована, природными пожарами уничтожено 1700 га торфяников и 15300 га лесов, что повело к сильному задымлению Москвы и прилегающих городов. Пожарам подверглись торфяники и лесные массивы на площади 17000 га. Наибольший ущерб нанесен ландшафтам Луховицкого, Шатурского, Орехово - Зуевского, Егорьевского, Ногинского, Павлово-Посадского, Коломенского муниципальных районов, городских округов Электрогорск и Рошаль. Сильно пострадала Мещера, где сохранились осушительные каналы, сооруженные в 1877 ... 1881 годах. Это Радовицкий (ныне канал Жилинского), Воронцовский, Кельцевский и многие другие каналы [36].

В период пожаров в Центральном регионе в 2010 году (рисунок 2.1) смертность населения увеличилась в 1,5...2 раза, в огне погибло 53 человека, сгорело 2600 домов. Материальные потери продукции составили 33 млрд. долларов [29].

Кроме того, торфяной пожар представляет собой постоянно действующий источник огня, под действием ветра от тлеющие частицы которого в жаркую сухую погоду может начаться пожар в прилегающих лесах[21], находящихся на расстоянии до 50 м и более [25] от источника пожара [59].

Ликвидация массовых торфяных пожаров часто осложняется труднодоступностью к очагам возгорания и удаленностью их от источников водоснабжения, а порой и невозможностью привлечения автотранспорта для доставки воды. Пожары ограничивают реальные ареалы мест обитания и деятельности человека, снижают видовое разнообразие флоры и фауны [23, 21].

После торфяных пожаров полностью исчезает плодородный почвенный органогенный слой мощностью всей торфяной залежи, и образуются изменённые почвы – пирогенные образования [30]. Поверхность пожарищ подвержена активной ветровой эрозии. Она обычно покрыта слоем золы, легко развеваемой в сухом состоянии. В результате пожары отрицательно влияют на экологию прилегающих

к ним территорий.

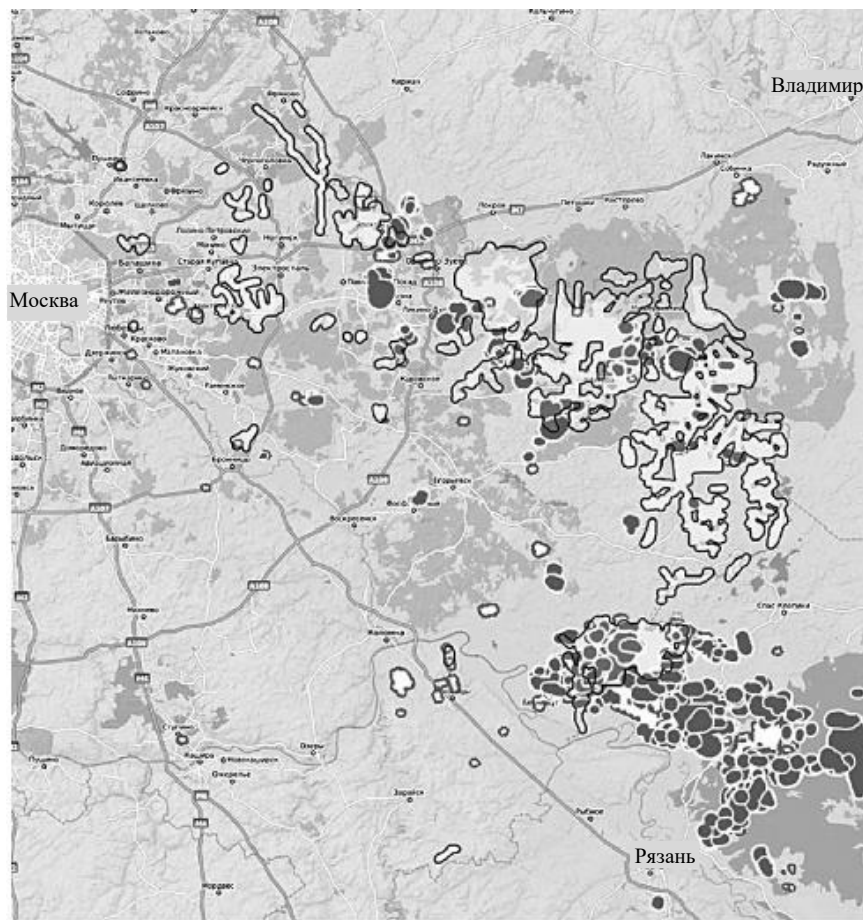


Рисунок 2.1 – Карта пожаров в Мещерской низменности летом 2010 года

Естественные неосушенные торфяники горят редко, только в засушливые годы, как правило, затрагивая лишь самые верхние слои торфяника, подсохший болотный мох сфагнум или сухую растительность на поверхности болота. Большую опасность представляет осушенный торфяник, так как осушение торфяника ведет к снижению уровня грунтовых вод на окружающей территории. Во второй половине лета (в период летней межени), когда формируется жаркая, сухая погода уровень грунтовых вод может опуститься так, что происходит разрыв капиллярного сообщения между ним и поверхностным слоем почвы, ухудшается обеспеченность влагой, высыхает подлесок, быстро иссушается профиль торфяных почв (это наблюдается на самотечных осушительных системах или нестабильно управляемых польдерах, подверженных значительным колебаниям уровня грунтовых вод) [23] до относительной влажности 25...40 %. При таком содержании влаги он может самовозгораться и поддерживать горение в нижних, менее сухих

слоях [61].

Самовозгорание торфа – воспламенение торфа в процессе окисления кислородом. При этом приток тепла извне необязателен. Самовозгорание происходит, если влажность торфа меньше 40 ...50 % полной влагоемкости [61, 59] (по другим оценкам около 28...30 % полной влагоемкости) [8]. Торф со склонностью к самовозгоранию имеет обычно степень разложения органического вещества более 35 % (низинный торф), легкогидролизуемые и воднорастворимые соединения в торфе должны составлять до 20 %, содержание общего железа – 3...6 мг-экв на 100 г сухой массы [7].

Многие авторы считают, что для предотвращения возникновения пожаров на торфяниках нужно не допускать снижения влажности поверхностного слоя торфа менее 50...65 % полной влагоемкости [27, 59 и другие]. При этом уменьшается поступление кислорода из воздуха, создается среда из азота и углекислоты [59].

## **2.2 Способы и техника увлажнения осушаемых земель**

На осушаемых землях в основном применяют два способа увлажнения: дождевание и шлюзование – увлажнение почвы путем искусственного регулирования уровня грунтовых вод. Выбор способа увлажнения определяется природными условиями (типом водного питания), использованием земель и технико-экономическими соображениями.

1) Шлюзование применяют главным образом на объектах грунтового питания, когда торф подстилается хорошо водопроницаемыми грунтами, а увлажняемые земли имеют небольшие (до 0,003...0,005) уклоны, когда возможно подать воду в почву в необходимых количествах для покрытия расходов на испарение, транспирацию.

Шлюзование неприменимо при других типах водного питания, если грунты слабопроницаемы, а уклоны местности значительные.

Существенные недостатки шлюзования – малые скорости распространения подпора, неравномерность увлажнения почв во времени, по длине и в сторону от



зашлюзованных каналов и подпертых дрен. Кроме того, при шлюзовании увлажняется только нижняя часть корнеобитаемой зоны, а верхние слои трудно увлажнить этим способом, так как высокий подъем поверхности грунтовых вод сопряжен с нежелательным подтоплением нижней части корневой системы.

Шлюзование чаще всего применяют при увлажнении лугов. Осушительная регулирующая сеть может быть представлена открытыми осушителями-каналами и закрытыми дренами. Эту же сеть используют и для увлажнения [39, 49].

Воду из источника орошения подают в магистральный канал со шлюзами или по специальному каналу-распределителю (нагорно-ловчому каналу). Из него вода попадает в открытые коллекторы и из них в осушители-увлажнители. Для пропуска и задержания воды шлюзы-регуляторы устраивают в голове (водозаборные) и устье (подпорные) каждого канала. Промежуточные шлюзы по длине канала предусматривают в тех случаях, когда из-за большого уклона нельзя обеспечить нужные глубины воды для равномерной подачи ее на всю увлажняемую площадь [57]. При благоприятных уклонах местности можно обойтись без устройства шлюзов-регуляторов. Такая схема обеспечивает более равномерное увлажнение, но требует строительства большего числа водоподпорных сооружений. Шлюзы-регуляторы на осушительной сети позволяют регулировать уровни грунтовых вод [40].

Если расчеты показывают, что открытые осушители-увлажнители не обеспечивают требуемой скорости подъема уровней грунтовых вод, то для увеличения этой скорости нарезают кротовые дрены, служащие также увлажнителями.

При проектировании подпочвенного увлажнения необходимо расчетами проверить, способна ли осушительная регулирующая сеть в заданные сроки обеспечить подъем уровня грунтовых вод на требуемую величину.

2) Увлажнение дождеванием лишено многих недостатков, свойственных подпочвенному, и несмотря на большие капитальные и эксплуатационные затраты, его иногда применяют при выращивании на осушаемых землях овощных и кормовых культур, садов и использовании под культурные пастбища, на участках

со слабопроницаемыми почвами и грунтами, при наличии развитого микрорельефа и на местности с большими уклонами.

3) Наиболее экологичными являются современные водооборотные осушительно-увлажнительные системы с повторным использованием дренажных вод, накапливаемых в специальных емкостях, для увлажнения осушаемых почв, в том числе и в противопожарных целях. Их применяют с целью предотвращения или уменьшения степени загрязнения природных водоемов дренажными водами, повторного использования дренажных вод для увлажнения осушаемых почв и утилизации, растворенных в этих водах полезных химических веществ, очистки дренажных вод перед их использованием или сбросом, а также уменьшения забора природных вод из рек [46].

При повторном использовании дренажных вод предусматривают заполнение пруда-накопителя весной или после дождевых паводков, а в периоды увлажнения – забор накопленных дренажных вод и подачу их в корнеобитаемый слой почвы. В пруд-накопитель, устраиваемый на командных отметках местности, насосные станции перекачивают сток осушительной системы в предпосевной и вегетационный периоды.

Водооборотные системы позволяют оптимизировать водный режим почв и за счет этого на 15...20 % повысить урожайность сельскохозяйственных культур, обеспечивают экономию 300...500 м<sup>3</sup>/га воды на участках атмосферного и грунтового водного питания и 700...1200 м<sup>3</sup>/га на участках грунтового-напорного водного питания. Влияние водооборотной осушительно-увлажнительной системы на прилегающие территории меньше, чем чисто осушительных систем, замедляется сработка торфа, значительно уменьшается или полностью предотвращается загрязнение природных водоемов, уменьшается угроза пожаров [39].

Для поддержания противопожарной обстановки на осушительно-увлажнительных системах сельскохозяйственного назначения необходимо выбрать соответствующую систему земледелия. Несоответствующие методы земледелия (пропашная система) на таких территориях могут привести к быстрому, полному разрушению торфа и созданию благоприятных условий для возникнове-

ния пожара. Возделывание пропашных культур на осушенных торфяниках вызывает распыление торфа, коагуляцию органических коллоидов с приобретением гидрофобных свойств, уменьшение влажности, иссушение пахотного горизонта, а так же сказывается на температурном режиме: повышению температуры почвы за счет увеличения поглощения лучистой энергии [31, 43]. Поэтому на осушенных торфяниках рекомендуется создавать травопольную систему земледелия. При нормальном водном режиме и правильной агротехнике эта система земледелия способствуют очищению почвы от сорняков и сохранению торфяных почв, сдерживают процессы разложения торфа, предупреждают потери питательных веществ, а также восстанавливают структуру почвы, предохраняют ее от распыления и эрозионных процессов, тем самым уменьшает риск иссушения торфа и возникновения пожаров. Так же она дает наибольший из всех выращиваемых культур выход протеина с единицы площади [38].

Особую заботу следует оказывать грунтовым дорогам на торфяниках. В жаркую сухой период лета они интенсивно иссушаются, распыляются и способны самовозгораться, необходимо создавать минеральную подушку.

### **2.3 Выводы по главе 2**

1. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, пожары на торфяниках очень опасны, особенно в жаркий период лета на осушенных выработанных торфяниках и на пропашных посевах, которые могут возгораться в результате деятельности человека и самовозгорания.

2. При решении этой проблемы на сельскохозяйственных землях необходим комплексный подход, то есть создавать осушительно-увлажнительные системы, позволяющую двухстороннее регулирование уровня грунтовых вод с помощью шлюзов-регуляторов, обеспечивая тем самым в поверхностном слое торфа противопожарную влажность более 50% полной влагоемкости.

3. Осушительно-увлажнительной системы должны быть с использованием вод местного стока и технологических сбросов с осушительной системы, то есть водооборотных. При этом надо учитывать особенности совместного использова-

ния вод местного стока и технологических сбросов с осушительных систем, такие как оптимальное сочетание объемов для увлажнения, изменяющиеся объемы стока по годам, расходные характеристики технологических сбросов, по необходимости строить пруды-накопители.

4. Для достижения противопожарной безопасности на сельскохозяйственных полях необходимо применять травопольную систему земледелия, предохраняющую торф от распыления и эрозионных процессов, тем самым уменьшает риск его иссушения и возникновения пожаров. Особую заботу оказывать грунтовыми дорогам на торфяниках, сильно иссушаемых в жаркую сухую погоду, создавать минеральную подушку.

### ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЛЮЗОВАНИЯ ОСУШЕННОГО ТОРФЯНИКА (МОДЕЛЬ «ШЛЮЗОВАНИЕ»)

Для обоснования противопожарного шлюзования осушенного торфяника в первом приближении можно воспользоваться математическим решением линеаризованного уравнения фильтрации, полученного С.Ф. Аверьяновым в 1956 году [5]. При одноступенчатом шлюзовании и с учетом различного инфильтрационного питания теплый период можно условно разделить на 3 периода:

1. с конца снеготаяния и начала работы дрен до начала шлюзования;
2. с начала шлюзования и создания напора в дренах и до конца шлюзования;
3. завершающий этап с начала снижения напора в дренах до их оси и до конца теплого периода.

Используя принцип суперпозиции фильтрационных потоков, глубины грунтовых вод посередине между дренами  $h$  в каждый период можно подсчитать по следующим формулам:

$$h_1 = h_{др} - [(h_{др} - h_{нач})(1 - \varphi) - \eta_1 \varphi_1], \quad (3.1)$$

$$h_2 = h_{др} - [-\eta_1 + (h_{др} - h_{шл} + \eta_1)\varphi - \eta_2 \varphi_1], \quad (3.2)$$

$$h_3 = h_{др} - [(h_{др} - h_{шл} - \eta_2)(1 - \varphi) - \eta_3 \varphi_1], \quad (3.3)$$

где  $h_1, h_2, h_3$  – меняющиеся во времени глубины грунтовых вод на междреньи, считая от поверхности земли, для 1, 2 и 3 периодов шлюзования, м;

$h_{др}$  – глубина шлюзуемой дрены (канала), считая от поверхности земли, м;

$h_{нач}$  – глубина грунтовых вод на начало теплого периода, м;

$h_{шл}$  – уровень воды в дренах при шлюзовании, считая от поверхности земли, м;

$\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – поправки на инфильтрационное питание для периодов, определяющиеся по формулам:

$$\eta_1 = \frac{q_1 L^2}{2kT}, \eta_2 = \frac{q_2 L^2}{2kT}, \eta_3 = \frac{q_3 L^2}{2kT}, \quad (3.4)$$

ГДЕ  $q_1, q_2, q_3$  – соответствующее первому-третьему периодам шлюзования;

расходование влаги на испарение минус осадки, м/сут;

$L$  – половина расстояния между осушителями, м;

$\varphi$  и  $\varphi_1$  – функции, зависящие от относительного времени  $\bar{t} = t/\tau$  (рисунок 3.1);

$t$  – время с начала периода, сут;

$\tau$  – время стабилизации фильтрационного потока:

$$\tau = \frac{\delta L^2}{\alpha k T}, \quad (3.5)$$

где  $\delta$  – коэффициент водоотдачи грунта;

$k$  – его коэффициент фильтрации, м/сут;

$T$  – его мощность (или расстояние от оси дрены до водоупора), м;

$\alpha$  – коэффициент несовершенства каналов по С.Ф. Аверьянову.

На рисунке 3.1 приведены графики для определения функций  $\varphi$  и  $\varphi_1$ .

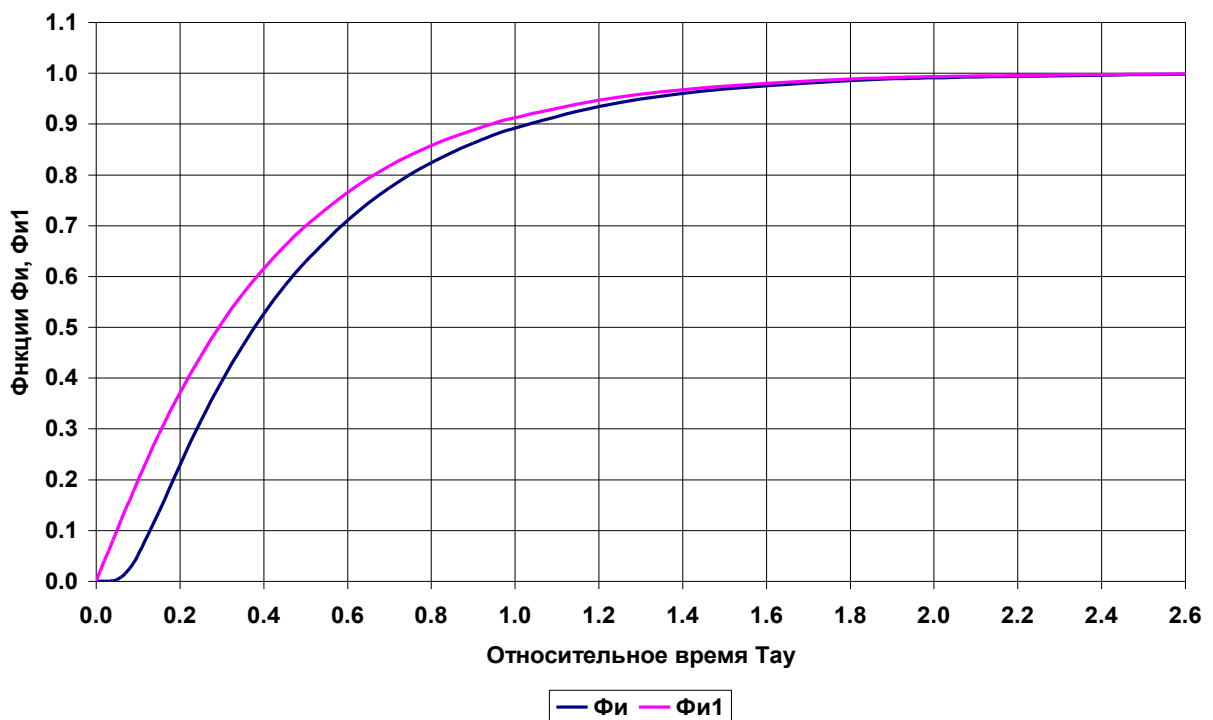


Рисунок 3.1 – Графики функций  $\varphi$  и  $\varphi_1$

В упомянутой работе С.Ф. Аверьянова имеются формулы для расчета расходов воды, поступающей в каналы при шлюзовании или вытекающей из них в режиме осушения, а также соответствующие им объемы дренажного стока.

Приведенные формулы довольно просты для расчета, однако они не учитывают изменение интенсивности инфильтрационного питания во времени, что заметно искажает график глубин грунтовых вод и они не позволяют рассчитывать влажность торфяника на разных глубинах.

Наши наблюдения за суточным изменением инфильтрационного питания в пойме реки Дубны показали сильную изменчивость его в течение теплых периодов: +22... –5 мм в сутки (глава 4, рисунок 4.6), отметим, что в формуле 3.4 дефицит увлажнения и инфильтрационное питание имеют обратные знаки. Такие колебания вызывают заметную изменчивость глубин грунтовых вод, а также влажности торфяника.

На рисунке 3.2 приведены результаты наших расчетов по модели «Шлюзование» и по формулам С.Ф. Аверьянова (3.1, 3.2, 3.3) [5, 4] для сухих, средних и влажных теплых периодов года [21]. Они дают существенные отличия в глубине грунтовых вод, особенно в дождливые периоды.

Для более точного описания процессов шлюзования, для характеристики влажности грунта, а также для оценки изменения статей водного баланса необходимы иные подходы, которые называются термодинамическим и геосистемным (ландшафтным) [20]. Их отличие от гидрофизического подхода, примененного в вышеописанных формулах, в том, что рассматриваются все составляющие напоров почвенной влаги и подземных вод, в данном случае это каркасно-капиллярный, сильно реагирующий на влагосодержание, и гравитационный.

Список составляющих полного потенциала при необходимости может быть расширен при рассмотрении повышенной минерализации вод (осмотический и сорбционный потенциалы) или термодиффузионный, при необходимости учета температуры воды и грунта.

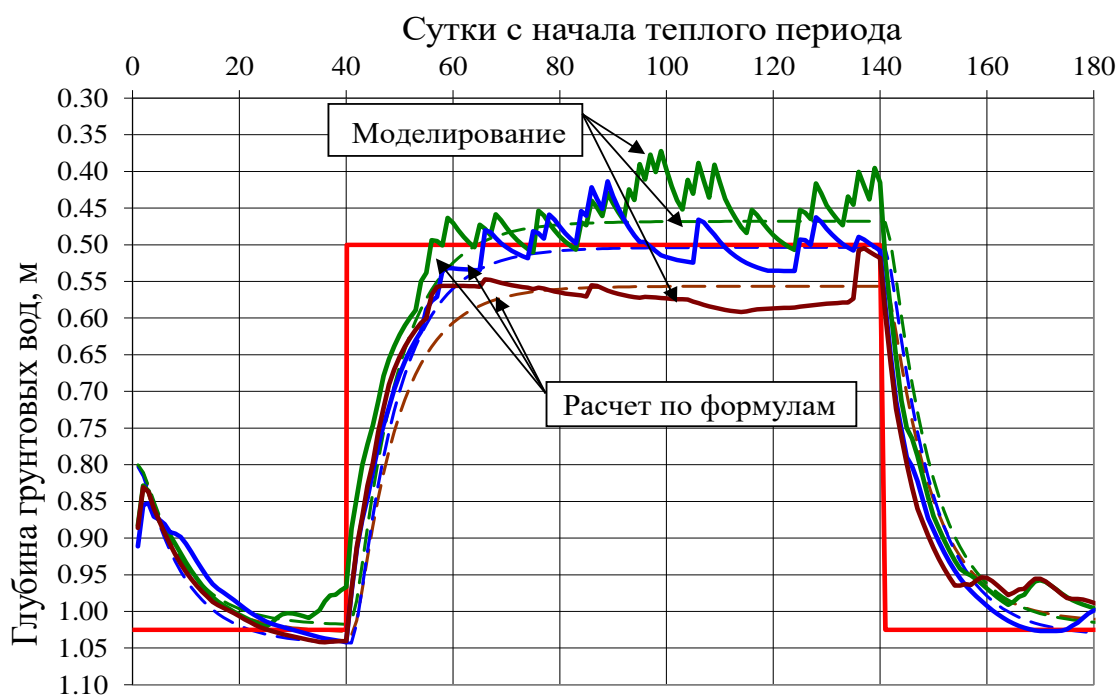


Рисунок 3.2 – Влияние изменчивости инфильтрационного питания на эффективность шлюзования

Помимо этого, современные географические представления говорят о необходимости рассмотрения природных объектов в виде геосистем разного ранга (в том числе и ландшафтов), в которых учитываются связи между составляющими (фациями), а водосбор представляется как совокупность взаимосвязанных гидрохимических потоков [14]. В действительности болото всегда сосуществует вместе с окружающими его возвышенностями, реками, озерами и т.п. Следовательно, надо всегда учитывать приток и отток воды и растворенных в ней веществ.

Такой подход возможен при рассмотрении как минимум двумерных фильтрационных потоков, нужно также учитывать неравномерные во времени атмосферные осадки, другие переменные погодные условия, функционирование растительного покрова, учет водопотребления, испарения и транспирации, формирование поверхностного стока. Наконец, надо учитывать работу естественных и искусственных дрен или запруд.



Элементарный водосбор принят в виде катены (цепочки) из четырех фаций с разным высотным взаиморасположением: элювиальная (возвышенная) фация, к которой примыкает склон или трансэлювиальная фация, ниже – субаквальная (пойменная) и аквальная (русло реки) фации. Это учтено в математической модели водосбора, разработанной А.И. Головановым и Ю.И. Сухаревым на кафедре мелиорации и рекультивации земель [17].

Такая схематизированная катена включает в себя земли с разными типами водного питания по А.Д. Брудастову [9]: атмосферным, намывным делювиальным, грунтовым. Она также включает набор зональных и азональных почв, учитывает в первом приближении размеры и формы рельефа, геологическое сложение современных четвертичных отложений применительно к различным ландшафтным провинциям. Помимо этого, с гидрологических позиций, эта катена представляет собой элементарный водосбор со многими характерными его особенностями.

Принято, что рассматриваемая катена примыкает к первичному водотоку в виде овражно-балочного понижения или малого русла (левое граничное условие). При формулировке этого условия предусмотрена возможность иссушения водотока в летний период, возможность учета разной водоприемной поверхности русла и его заиленности, а также переменного уровня воды в нем при шлюзовании.

В модели принято, что поверхность земли описывается гиперболическим тангенсом. Превышение поверхности земли над берегом водотока  $\Delta_i$  на расстоянии  $y_i$  от него определялось по зависимости:

$$\Delta_i = 0,5\Delta_0 \left\{ 1 + th \left[ \varphi \left( a_1 - a_2 \frac{y_i}{B} \right) \right] \right\}, \quad (3.6)$$

где  $\Delta_0$  – расчлененность рельефа, то есть разность отметок поверхности элювиальной и супераквальной фаций;

$\varphi$  – относительная крутизна склона трансэлювиальной фации;

$a_1$  и  $a_2$  – эмпирические коэффициенты, вместе с относительной крутизной склона они позволяют регулировать площади составляющих катены;

$B$  – ширина катены.

Пример очертания катен при разной расчлененности рельефа приведен на рисунке 3.3.

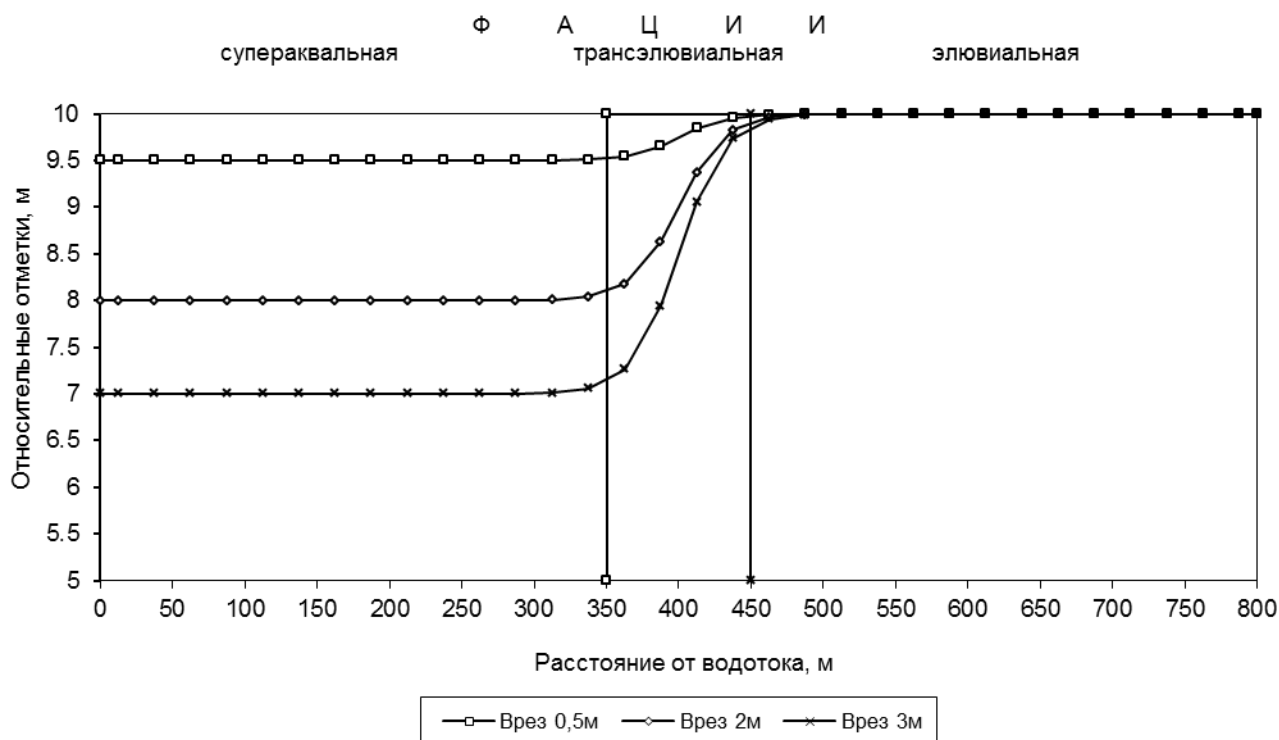


Рисунок 3.3 – Схематизация рельефа катен при разной расчлененности рельефа

Поток влаги рассмотрен как двумерный, его конечно-разностный аналог записан по неявной схеме, исходя из баланса влаги в  $i, j$  блоке, и имеет вид:

$$C_{W_{i,j}}^{n+1} \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{H_{i,j-1}^{n+1} - H_{i,j}^n}{h_j R_{i,j-1}^e} - \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j+1}^n}{h_j R_{i,j}^e} + \frac{H_{i-1,j}^{n+1} - H_{i,j}^n}{b_i R_{i-1,j}^e} - \frac{H_{i,j}^{n+1} - H_{i+1,j}^n}{b_i R_{i,j}^e} - e_{i,j}^n, \quad (3.7)$$

Это уравнение в дифференциальной форме впервые предложил в 1931 г. Ричардс [86]. В нашей стране влагоперенос при неполном насыщении впервые исследовал С.Ф. Аверьянов [3].

В выражении (3.7)  $H_{i,j}^{n+1}$  – напор на расчетный момент времени  $n+1$ , м; при отсчете напоров от поверхности земли в самой высокой точке профиля и оси  $\chi$ , направленной вниз:

$$H_{i,j}^{n+1} = -\chi_{i,j} + \psi_{i,j}^{n+1}, \quad (3.8)$$

где  $\psi_{i,j}^{n+1}$  – напор, эквивалентный каркасно-капиллярному давлению в зоне непол-

ного насыщения ( $\psi < 0$ ) и эквивалентный гидростатическому давлению в зоне полного насыщения, м;

$Cw_{i,j}^{n+1}$  – коэффициент влагоемкости,  $\text{м}^3_{\text{в}}/\text{м}^4$ :

$$Cw_{i,j}^{n+1} = \frac{\partial \omega}{\partial H} = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n} = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^n}{\psi_{i,j}^{n+1} - \psi_{i,j}^n}, \quad (3.9)$$

где  $\omega_{i,j}^{n+1}$  – объемная влажность почвы,  $\text{м}^3_{\text{в}}/\text{м}^3$  ( $\text{м}^3_{\text{в}}$  – кубический метр почвенной влаги).

При полном влагонасыщении коэффициент  $Cw = 0$ . Связь между каркасно-капиллярным потенциалом и влажностью почвы принята в виде (А.И. Голованов):

$$\frac{\omega - \omega_m}{p - \omega_m} = \exp \left[ - \left( \frac{|\psi|}{\mu h_k} \right)^n \right], \quad (3.10)$$

где  $p$  – пористость, единицы объема;

$\omega_m$  – максимальная гигроскопичность;

$h_k$  – высота капиллярного подъема, м;

$\mu, n$  – безразмерные эмпирические коэффициенты;

$\Delta t$  – расчетный шаг по времени, сут;

$R_{i,j}^6$  – вертикальное сопротивление потоку влаги между центрами  $i, j$  и  $i, j+1$  блоков, сут:

$$R_{i,j}^6 = 0,5(h_j / K\omega_{i,j} + h_{j+1} / K\omega_{i,j+1}), \quad (3.11)$$

где  $R_{i,j}^2$  – горизонтальное сопротивление потоку влаги между центрами  $i, j$  и  $i+1, j$  блоков, сут:

$$R_{i,j}^2 = 0,5(b_i / K\omega_{i,j} + b_{i+1} / K\omega_{i+1,j}), \quad (3.12)$$

где  $K\omega$  – коэффициент влагопроводности  $\text{м}^3_{\text{в}}/\text{м}^2/\text{сут}$ , зависящий от объемной

влажности почвы  $\omega$ , можно определить по формуле С.Ф Аверьянова [2]:

$$K\omega = K_{\phi} \left( \frac{\omega - BPK}{p - BPK} \right)^{3,5}, \quad (3.13)$$

где  $BPK$  – влажность разрыва капилляров или максимальная молекулярная влагоемкость по А.Ф. Лебедеву.

При учете максимальной гигроскопичности  $\omega_m$  эта зависимость несколько изменяется (Голованов А.И.) [18]:

$$K\omega = K_{\phi} \left( \frac{\omega - \omega_m}{p - \omega_m} \right)^5, \quad (3.14)$$

В модели атмосферные осадки учитывались приращением запасов влаги в верхнем слое почвы в день их выпадения, то есть принимались во внимание суточные количества осадков.

Расходование влаги на испарение принято зависящим от погодных условий, от влажности и засоленности почвы, оно разделялось на испарение с поверхности почвы, которое учитывалось как граничное условие, и на транспирацию, последняя распределялась по корнеобитаемому слою пропорционально влажности почвы и плотности корней и входила в уравнение в виде интенсивности влагоотбора корнями растений из единичного объема почвы  $e_{i,j}$ , м<sup>3</sup><sub>в</sub>/м<sup>3</sup>/сут. С этой целью для каждой декады теплого периода по известным средней температуре воздуха  $T$ , °С и относительной влажности воздуха  $a$ , % подсчитывалось потенциальное (при оптимальной влагообеспеченности) декадное суммарное испарение (эвапотранспирация)  $E_{pot}$  в мм по формуле Н.Н. Иванова [62]:

$$E_{pot} = 0,0061 \cdot n \cdot K_{\phi} (25 + T)^2 (1 - 0,01 \cdot a), \quad (3.15)$$

где  $n$  – продолжительность периода (декады), сут;

$K_{\phi}$  – биологический коэффициент, учитывающий особенности конкретного ценоза;

$T$  – среднедекадная температура, °C;

$a$  – влажность воздуха, %.

Потенциальная эвапотранспирация разделялась на потенциальное испарение с поверхности почвы  $E_{pot}^{\phi}$  и потенциальную транспирацию  $E_{pot}^t$  пропорционально затененности почвы растительным покровом  $f_p$ , которая изменялась по декадам:  $E_{pot}^{\phi} = (1-f_p)E_{pot}$  и  $E_{pot}^t = f_p E_{pot}$ . Эти потенциальные виды испарения редуцировались на каждом временном шаге по формуле:

$$E^{\phi} = \varepsilon E_{pot}^{\phi}; \quad \varepsilon = 2w_0 - w_0^2; \quad w_0 = \frac{\omega_n - \omega_m}{0,8p - \omega_m}, \quad (3.16)$$

где  $w_0$  – влажность;

$\omega_n$  – влажность на поверхности почвы;

$\omega_m$  – максимальная молекулярная влагоемкость;

$p$  – пористость.

При влажности поверхностного 2...5 см слоя почвы  $\omega_n > 0,8p$   $\varepsilon' = 1$ ; эти зависимости согласуются, например, с исследованиями А.И. Будаговского и других [10]:

$$E^t = \varepsilon_w \varepsilon_s E_{pot}^t, \quad (3.17)$$

где  $\varepsilon_w = 2w_k - w_k^2$ ;  $w_k = \frac{\omega_k - BЗ}{\omega_k^{opt} - BЗ}$ ;  $\varepsilon_s = \exp[-0,2(Z - Z_{дон})^2]$ ; при  $Z < Z_{дон}$   $\varepsilon_s = 1$ ;

$\varepsilon_w$  – коэффициент, учитывающий уменьшение транспирации при отклонении влажности почвы от оптимальной, вид этой зависимости соответствует исследованиям А.Р. Константинова [33];

$\omega_k$  – средняя влажность корнеобитаемого слоя почвы, переменная во времени;

$\omega_k^{opt}$  – то же, оптимальная в данную декаду;

$BЗ$  – влажность завядания;

$\varepsilon_s$  – коэффициент, учитывающий снижение транспирации из-за засоления почвы, вид этой зависимости принят подобным зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от засоления почвы [41, 51];

$Z$  и  $Z_{don}$  – фактическое и допустимое содержание солей в корнеобитаемом слое почвы.

Скорректированная величина транспирации  $E^t$  распределялась по глубине каждого столбца в заданном корнеобитаемом слое пропорционально влажности почвы и массы корней в виде интенсивности влагоотбора корнями растений из единичного объема почвы  $e_{i,j}$ , м<sup>3</sup><sub>в</sub>/м<sup>3</sup>/сут.

Вся исследуемая толща разбивалась на элементарные слои  $h_j$  ( $1 \leq j \leq Nx-1$ ) переменной толщины, от 0,1 м вблизи поверхности до 1 м вблизи водоупора,  $h_0 = h_{Nx} = 0$ . Общее количество слоев было равно 20...25, включая и нулевой. Помимо этого рассматриваемый пласт разбивался вертикальными плоскостями для образования столбцов и расчетных блоков. Ширина этих блоков  $b_i$  принималась постоянной,  $b_0 = b_{Ny} = 0$ .

Определение напоров почвенной влаги  $H_{i,j}^{n+1}$  с помощью системы алгебраических уравнений 3.7 представляет собой громоздкую вычислительную задачу, так как сводится к нахождению большого количества неизвестных (при принятой разбивке на блоки) с шагом около 1 суток на протяжении нескольких десятков лет. Следует также отметить существенную нелинейность этой системы уравнений, в которой емкостной коэффициент и проводимость существенно зависят от напоров почвенной влаги, следовательно, и от влажности почвы, что требует 3...7 итераций на каждом временном шаге. Поэтому алгоритм решения этой системы должен быть наиболее эффективным. В настоящее время таковым является метод матричной прогонки, который введением вектора напоров  $U_j$  по всем  $i$ -тым столбцам для каждого слоя  $j$  позволяет понизить размерность задачи до одномерной [50]:

$$U_j = | H_{1,j}^{n+1}; H_{2,j}^{n+1}; H_{3,j}^{n+1}; \dots H_{Nr-1,j}^{n+1} | \text{ при этом } j=0,1,2,3\dots Nx, \quad (3.18)$$

С помощью этого вектора система уравнений (3.7) запишется в матричном виде:

$$AA_j U_{j-1} - CC_j U_j + BB_j U_{j+1} = F_j, \quad (3.19)$$

где  $AA_j$  и  $BB_j$  – квадратные диагональные матрицы размером  $(Nr-1) \cdot (Nr-1)$ , учитывающие вертикальные потоки влаги между  $i, j-1$  и  $i, j$  блоками и между  $i, j+1$  блоками:

$$AA_j = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{pmatrix} \text{ и т.д.,} \quad (3.20)$$

где  $A_{i,i} = \frac{1}{h_j R_{i,j-1}^e}$ ;

$$BB_j = \begin{pmatrix} B_{11} & 0 & 0 \\ 0 & B_{22} & 0 \\ 0 & 0 & B_{33} \end{pmatrix} \text{ и т.д.,} \quad (3.21)$$

где  $B_{i,i} = \frac{1}{h_j R_{i,j}^e}$ ;

$CCW_j$  – квадратная трехдиагональная матрица размером  $(Nr-1) \cdot (Nr-1)$ , учитывающая к тому же горизонтальные потоки влаги между  $i-1, j$  и  $i, j$  блоками и между  $i, j$  и  $i+1, j$  блоками, а также емкостной член:  $CC_j = AA_j + BB_j + CCW_j - DD_j$ :

$$CCW_j = \begin{pmatrix} Cw_{11} & 0 & 0 \\ 0 & Cw_{22} & 0 \\ 0 & 0 & Cw_{33} \end{pmatrix} \text{ и т.д.,} \quad (3.22)$$

где  $Cw_{i,i} = \frac{Cw_{i,j}^{n+1}}{\Delta t}$ ;

$$DD_j = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & 0 \\ 0 & D_{32} & D_{33} & D_{34} \\ 0 & 0 & D_{43} & D_{44} \end{pmatrix} \text{ и т.д.,} \quad (3.23)$$

где  $D_{ii} = -D_{i,i-1} - D_{i,i+1}$ ,  $D_{i,i-1} = \frac{1}{b_i R_{i-1,j}^e}$ ,  $D_{i,i+1} = \frac{1}{b_i R_{i,j}^e}$ ;

Левое граничное условие, то есть отсутствие потока в центр крайнего столбца учитывается особыми правилами вычисления элементов этой матрицы  $D_{11}$  и  $D_{12}$ ;  $D_{11} = -D_{12}$ ;  $D_{12} = \frac{1}{b_1 R_{1,j}^2}$ .

Аналогичное правое граничное условие учитывается при вычислении последних элементов этой матрицы  $D_{Nr-1,Nr-1} = -D_{Nr-1,Nr-2}$ ;  $D_{Nr-1,Nr-2} = \frac{1}{b_{Nr-1} R_{Nr-2,j}^2}$ .

В случае, если в каком-то слое  $j$  имеется источник или сток, они учитываются при вычислении соответствующих элементов матрицы  $DD_j$ .

Входящий в систему (3.19) вектор  $F_j$  объединяет все свободные члены:

$$F_j = \left| e_{1,j}^n - \frac{Cw_{1,j}^{n+1}}{\Delta t} H_{1,j}^n; e_{2,j}^n - \frac{Cw_{2,j}^{n+1}}{\Delta t} H_{2,j}^n; e_{3,j}^n - \frac{Cw_{3,j}^{n+1}}{\Delta t} H_{3,j}^n; \dots e_{Nr-1,j}^n - \frac{Cw_{Nr-1,j}^{n+1}}{\Delta t} H_{Nr-1,j}^n \right|. \quad (3.24)$$

При наличии источников или стоков на вертикальных границах или внутри области фильтрации, они учитываются при вычислении этого вектора.

Решение системы матричных уравнений 3.19 ищется в виде рекуррентной формулы:

$$U_j = PP_j \cdot U_{j+1} + QQ_j, \quad (3.25)$$

для этого при прямой прогонке вычисляют матрицы прогоночных коэффициентов  $PP_j$  и прогоночные векторы-столбцы  $QQ_j$ :

$$PP_j = \| CC_j - AA_j \cdot PP_{j-1} \|^{-1} \cdot BB_j, \quad (3.26)$$

$$QQ_j = \| CC_j - AA_j \cdot PP_{j-1} \|^{-1} \cdot \| AA_j \cdot QQ_{j-1} - F_j \|, \quad (3.27)$$

В этих формулах  $\| a_{ik} \|^{-1}$  обозначает обращенную матрицу.

При обратной прогонке вычисляют искомый вектор напоров почвенной влаги  $U_j$  на конец временного шага  $\Delta t$  по формуле 3.26.

Верхнее граничное условие учитывают, особым образом вычисляя первую матрицу прогоночных коэффициентов  $PP_0$  и первый вектор-столбец  $QQ_0$ . Так, если через верхнюю границу ( $x=0$ ) нет потока влаги, то  $H_{i,0}^{n+1} = H_{i,1}^{n+1}$ , следовательно, как это следует из формулы 3.26, элементы диагонали матрицы  $PP_0$  равны  $P_{ii} = 1$ , а



остальные – нулевые. Все элементы вектора-столбца  $QQ_0$  равны нулю. При физическом испарении через поверхность почвы поток влаги равен:

$$ef_i = \frac{H_{i,1}^{n+1} - H_{i,0}^{n+1}}{R_{i,0}^e}, \quad (3.28)$$

Поэтому диагональные элементы матрицы  $PP_0$  равны  $P_{ii}=1$ , а остальные – нулевые. Элементы вектора-столбца  $QQ_0$  равны:  $Q_i = -ef_i R_{i,0}^e$ . Если поверхность почвы увлажняется поливом, то в приведенных выражениях величина физического испарения заменяется интенсивностью водоподдачи (м/сут), взятой с обратным знаком. Если поливается часть поверхности, то эту замену осуществляют для соответствующих номеров столбцов  $i$ . При поливе затоплением, когда на поверхности почвы создается слой воды  $h_{yв}$ , для соответствующих  $i$   $P_{ii}=0$ ,  $Q_i=H_{yв}=h_{yв} - \Delta_i$ .

Условия на нижней границе ( $x=x_{Nx}$ ) реализуются при особом вычислении последнего вектора напоров  $U_{Nx}$ :

1) при отсутствии потока влаги через нижнюю границу (водоупор)

$H_{i,Nx}^{n+1} = H_{i,Nx-1}^{n+1}$ , поэтому в соответствии с 3.26 напоры вычисляются по формуле:

$$U_{Nx} = \| H_{i,Nx}^{n+1} \| \| EE - PP_{Nx-1} \|^{-1} \cdot QQ_{Nx-1}, \quad (3.29)$$

где  $EE$  – квадратная диагональная единичная матрица, то есть у которой элементы  $E_{ii}=1$ ;

2) при наличии гидравлического взаимодействия с глубже залегающими пластами (напорное подпитывание) с интенсивностью вычисляется по формуле:

$$d_i = k_0 \frac{h_p - h h g_i}{T_0}, \quad (3.30)$$

где  $k_0$  – коэффициент фильтрации отдельного слабопроницаемого пласта;

$T_0$  – его мощность;

$h_p$  – отметка пьезометрического уровня в напорном пласте, считая от поверхности

земли на возвышенности;

$h g_i$  – уровень грунтовых вод в  $i$ -том столбце, считая от поверхности земли на возвышенности; напоры на нижней границе вычисляются по формуле:

$$U_{N_x} = |H_{i,N_x}^{n+1}| = \|EE - PP_{N_x-1}\|^{-1} \cdot (QQ_{N_x-1} - dd_i), \quad (3.31)$$

где  $dd_i$  – вектор-столбец с элементами  $d_i$ ;

3) при заданной постоянной во времени глубине грунтовых вод, точней уровне грунтовых вод, отсчитываемым от поверхности земли на возвышенности  $h g_i$ :

$$U_{N_x} = |H_{i,N_x}^{n+1}| = -h g_i, \quad (3.32)$$

4) при очень глубоких грунтовых водах, не участвующих в круговороте почвенных вод:

$$U_{N_x} = |H_{i,N_x}^{n+1}| = \|1 - PP_{N_x-1}\|^{-1} \cdot (QQ_{N_x-1} - |0,5h_{N_x-1}|), \quad (3.33)$$

где  $|0,5h_{N_x-1}|$  – вектор-столбец с одинаковыми элементами, равными  $0,5h_{N_x-1}$ .

После вычисления вектора  $U_{N_x}$  определяют все остальные векторы напоров, включая и  $U_0$ , то есть получают матрицу напоров почвенной влаги, при этом напоры в крайних левом и правом столбцах приравнивают к соседним, исходя из отсутствия потока влаги на этих границах:  $H_{0,j}^{n+1} = H_{1,j}^{n+1}$ ;  $H_{N_r,j}^{n+1} = H_{N_r-1,j}^{n+1}$ . Если потоки влаги имеются, напоры вычисляют по тем же формулам, которые закладывают в граничные условия, например, отток в дренаж, находящуюся на определенной глубине. Матрицу напоров переводят в матрицу влажностей почвы  $\omega_{i,j}^{n+1}$  с помощью выражения 3.10. Так как коэффициенты влагопроводности  $K\omega$  и влагоемкости  $C\omega$  зависят от заранее неизвестной влажности, то приходится выполнять ряд итераций (около 3...7), пока ответы по влажности не будут отличаться более чем на 0,00001 объема. Знание напоров и сопротивлений позволяют подсчитать потоки влаги в любых сечениях, как на границах области, так и внутри

нее, например, переток влаги из одной фации в другую, или вертикальные потоки, характеризующие промываемость почвенного слоя.

Приведенные модели реализованы в виде компьютерных программ, разработанных А.И. Головановым.

Описанная модель «Шлюзование» позволяет детально характеризовать влажность торфяника и основные статьи осушенного и шлюзованного болота, что практически невозможно при гидрофизическом подходе, пример расчета приведен в таблице 3.1 [21].

Таблица 3.1 – Статьи водного баланса на низинном болоте при шлюзовании (средние за 53 года)

Варианты	Весеннее увлажнение, мм	Впитавшиеся осадки, мм	Фактическое испарение, мм	Приток с возвышенности, мм	Дренажный сток с болота, мм		
					всего	сброс	подача
Естественное болото	45	297	370	60	0	0	0
Стандартное осушение	111	345	328	75	201	201	0
Шлюзование 0,8 м	111	345	335	45	161	328	167
Шлюзование 0,5 м	111	342	343	19	123	445	322

Продолжение таблицы 3.1

Варианты	Средняя за год глубина ГВ, м	Влажность в слое 0,25 м	Относительный урожай	Промываемость, мм	Сток с катены, мм		
					половодья	межени	за год
Естественное болото	0,69	0,69	0,60	64	124	43	167
Стандартное осушение	1,33	0,50	0,61	252	98	88	186
Шлюзование 0,8 м	1,00	0,57	0,89	237	98	84	182
Шлюзование 0,5 м	0,64	0,70	0,77	223	99	81	180

Анализ статей водного баланса позволяет всесторонне оценить эффективность шлюзования, в том числе и необходимые водные ресурсы, то есть подачу воды в осушительную сеть, которая соизмерима с осадками в теплый период.

В нашей работе в процессе использования модели была проведена некоторая её доработка с учетом особенностей её применения. Так, был введен учет рельефа местности на опытном участке. В наших опытах поверхность земли отли-

чалась от средней на 10...15 см, что немного повлияло на отметки поверхности грунтовых вод. Экспериментально была проверена возможность использования формулы Н.Н. Иванова для расчета испаряемости, которая сильно влияет на остальные статьи водного баланса. Несколько изменен алгоритм счета объема дренажного стока и размера водоподачи при шлюзовании. Из-за длительного периода расчета (53 года) скорректировано распределение памяти модели. Полученные результаты описаны в главе 5.

### **3.1 Выводы к главе 3**

1. Обсуждены достоинства и недостатки разных подходов описания противопожарного шлюзования осушенных болот. Полагаем наиболее эффективным геосистемный (ландшафтный) подход, при котором болото рассматривается в единстве с окружающей местностью.

2. Принципиальным является использование термодинамического подхода, при котором появляется возможность описать передвижение почвенной влаги при неполном насыщении, а также учет динамики погодных условий в разные годы, отбор влаги конями растений и другие важные факторы.

3. Модель «Шлюзование» позволяет количественно всесторонне охарактеризовать основные статьи водного баланса, глубины грунтовых вод, влажность торфяника и получить данные для водохозяйственных и экономических расчетов эффективности шлюзования.

4. Проведена некоторая корректировка модели, учитывающая специфику наших расчетов.

## **ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛЮЗОВАНИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ.**

После ряда засушливых лет участились пожары осушенных торфяников вблизи населенных пунктов. С целью борьбы с пожарами стали применяться обводнение выработанных торфяников и регулирование уровня воды в каналах-осушителях на сельскохозяйственных полях (шлюзование) [21].

Для оценки эффективности последнего мероприятия нами проведены полевые исследования, результаты которых также использованы для подтверждения работоспособности выше описанной математической модели двумерной фильтрации.

### **4.1 Описание экспериментального участка**

Экспериментальный участок расположен на осушенной притеррасной пойме реки Дубны на землях стационара кафедры мелиорации и рекультивации земель к юго-западу от деревни Селково Сергиево-Посадского района Московской области северней дороги Мергусово – Константиново. Участок находится вблизи притеррасной речки Шурумки (рисунок 4.1), которая была расчищена и углублена для снятия напорности грунтовых вод.

Участок площадью около 8000 м<sup>2</sup> был осушен сетью открытых каналов глубиной 1,1...1,5 м, расстояния между каналами порядка 40 м. Летом 2013 года на одном из каналов глубиной около 1,1 м после его расчистки от древесно-кустарниковой растительности нами были построены временные перемычки (шлюзы) и образовался бьеф длиной 50 м. Рядом с экспериментальным участком располагался пруд-копань (рисунок 4.2), который использовался для наполнения водой бьефа канала с помощью переносной мотопомпы Euromatic MSA 50 (Италия).

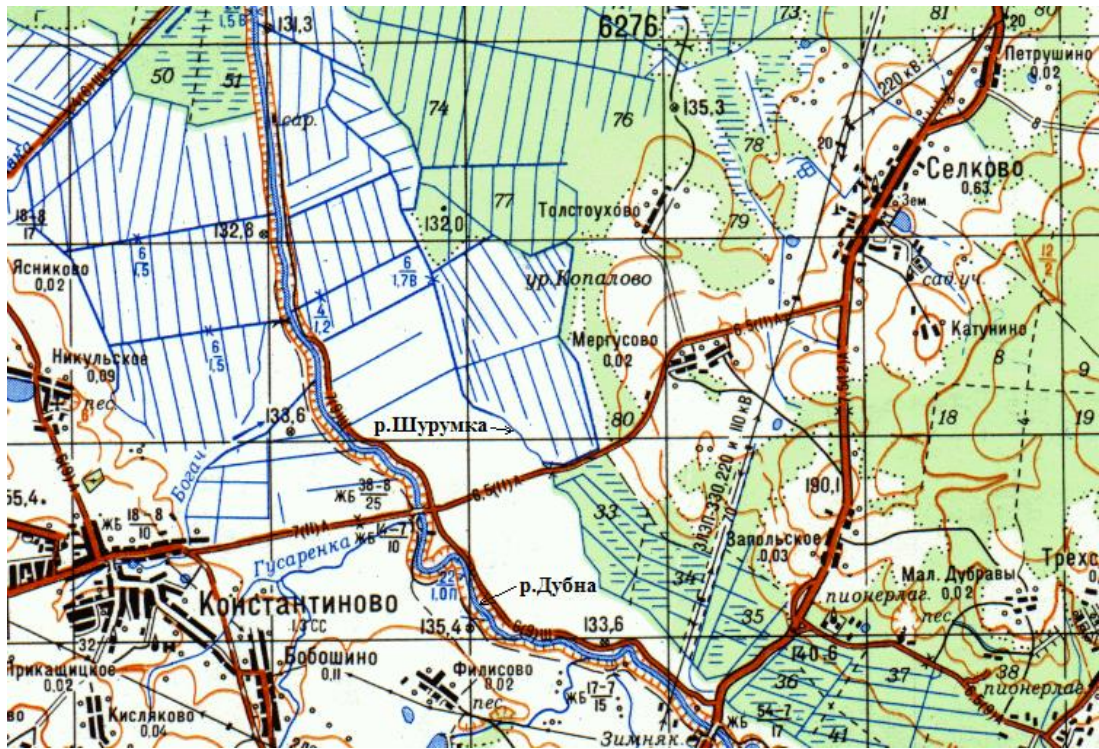


Рисунок 4.1 – Карта территориального расположения экспериментального участка



Рисунок 4.2 – Снимки экспериментального участка со спутника

Во время опыта уровень воды в бьефе регулировался наливом или отливом. Вода в нем поддерживалась на высоте около 0,96 м от дна. Для наблюдения за уровнем воды шлюзованную часть канала оборудовали водомерными постами. На прилегающих межканальных полосах в пределах бьефа бурились скважины диаметром 15 см до глубины около 1,5 м, которые образовывали три створа по 10 скважин для измерения уровня грунтовых вод, скважины 21...25 были базовыми;

и такое же количество скважин глубиной 35 см для измерения влажности почвы в 35...45 см слое, рядом с последними выполнялись замеры влажности в слое 0...10 см (рисунок 4.3).

Выше по течению канала за пределами влияния бьефа устраивался еще один створ с тем же количеством скважин для оценки глубин грунтовых вод и влажности при отсутствии шлюзования (скважины а – к). Этот створ был оборудован водомерным постом для измерения уровня воды канала при осушении (то есть без шлюзования) (рисунок 4.3) [52].

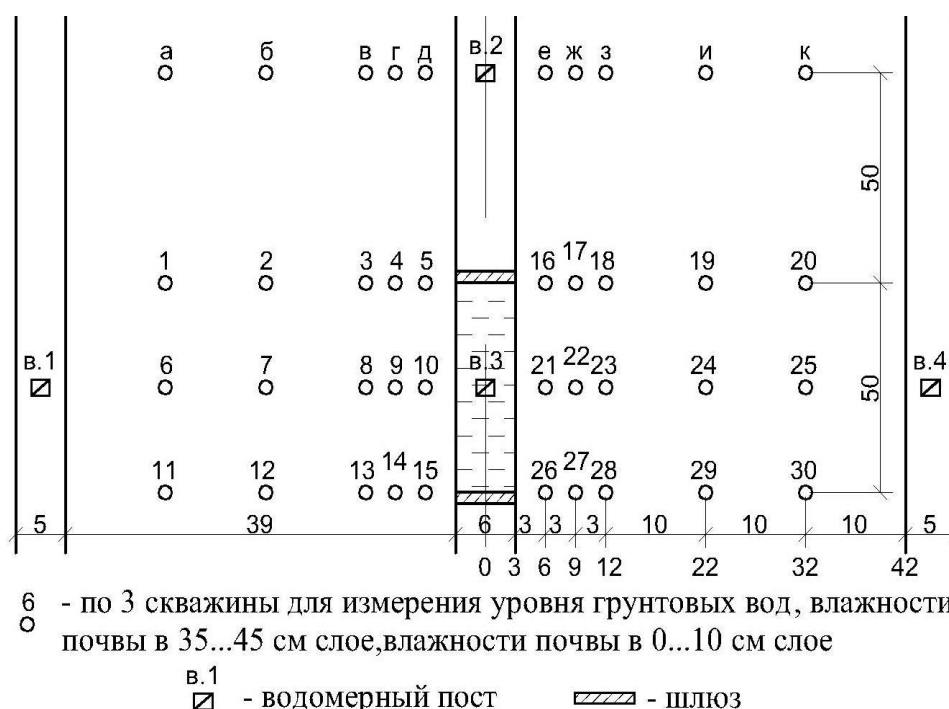


Рисунок 4.3 – Схема расположения скважин на экспериментальном участке

Шлюзование проводили в 2013 году, но из-за неудачной конструкции шлюзов уровни воды поддерживались неудовлетворительно, были утечки воды, поэтому опыты были продолжены в следующем 2014 году с улучшенной конструкцией шлюзов-перемычек.

## 4.2 Характеристика местных погодных условий в период экспериментов

Участок экспериментальных исследований находится в зоне умеренно-континентального климата с холодной зимой и умеренно теплым летом. Для этой местности характерна среднегодовая температура воздуха (для Сергиева Посада) +3,3°C, в январе -0,3°C и в июле +17,5°C. Теплый период (среднесуточная темпе-

ратура воздуха более  $+5^{\circ}\text{C}$ ) в среднем наступает 20 апреля, его продолжительность 170 сут. Количество атмосферных осадков в 2014 году было значительным 606 мм/год, фактическое испарение 406 мм/год (в теплый период 331 мм, в холодный 75 мм), речной сток примерно 200 мм/год, в том числе сток весеннего половодья 100 мм, сток межени тоже 100 мм.

Сумма биологически активных температур воздуха, то есть выше  $+10^{\circ}\text{C}$  в пределах 1800...1900  $^{\circ}\text{C}$ , радиационный баланс порядка 130 кДж/см<sup>2</sup>, количество ФАР за теплый период равно 180 кДж/см<sup>2</sup>, то есть при достаточном увлажнении биологическая продуктивность ландшафтов здесь значительна 9...12 т/га [45].

Для точной характеристики местных погодных условий в период экспериментов летом 2013 и 2014 годов были организованы стандартные наблюдения за температурой и относительной влажностью воздуха, за атмосферными осадками и за испарением с водной поверхности (испаряемости). Для этого рядом со шлюзуемым каналом была установлена стандартная метеобудка: оснащенная термографом и гигрографом с недельными заводами, стандартный осадкомер Третьякова, испаритель с водной поверхности ГГИ-3000. Каждый день в срочный час аспирационным психрометром Асмана измерялась температура воздуха и его относительная влажность, которые сравнивались с соответствующими им показаниями на регистрируемых лентах для внесения поправок. Так же ежедневно измерялось суточное количество осадков, показатели с испарометра. Все замеры по указанным приборам проводились в соответствии с общепринятой методикой [35]. Измеренные величины испаряемости сравнивались с рассчитанными по известной и широко применяемой в мелиорации формуле Н.Н. Иванова [глава 1, формула 1.2]. Следует отметить, что эта формула первоначально была получена Н.Н. Ивановым для ежемесячных сумм испаряемости, мы же её применили для декадных периодов и сравнили с нашими прямыми измерениями (таблица 4.1, рисунок 4.4).

Осреднение измерений за декаду давало лучшее совпадение результатов расчетов по формуле Н.Н. Иванова и измеренных испарителем ГГИ-3000, разница между которыми составляет около 5% (таблица 4.1).



Таблица 4.1 – Сравнение декадной испаряемости с водной поверхности по прибору ГГИ-3000 и по формуле Н.Н. Иванова

В миллиметрах

Периоды	Испаряемость по ГГИ-3000	Испаряемость по формуле Н.Н. Иванова
02.06 ... 10.06	39	45
11.06 ... 20.06	20	24
21.06 ... 30.06	19	19
01.07 ... 10.07	27	32
11.07 ... 20.07	34	32
21.07 ... 31.07	34	31
01.08 ... 10.08	29	33
11.08 ... 20.08	28	28
21.08 ... 26.08	13	15
Сумма	245	259

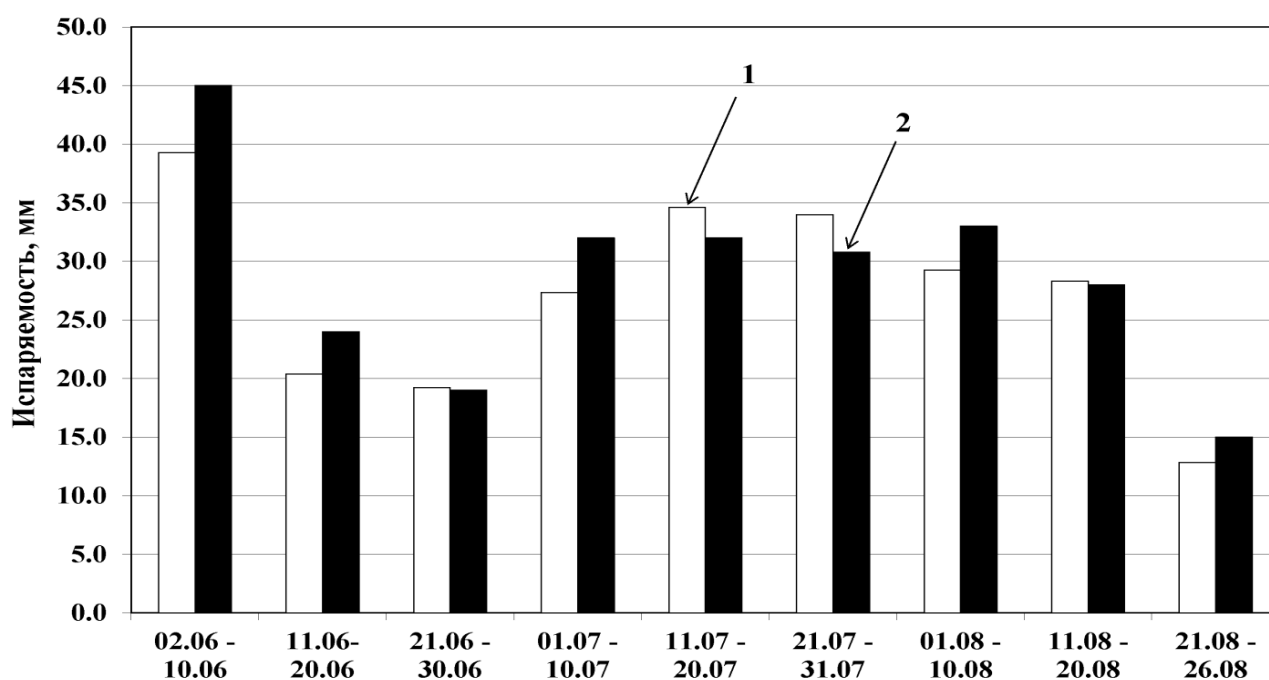


Рисунок 4.4 – Декадные значения испаряемости, полученная экспериментально и расчетом по формуле Н.Н. Иванова: 1 – испаряемость по ГГИ-3000, мм; 2 – испаряемость по формуле Н.Н. Иванова, мм

Следовательно, формулу Н.Н. Иванова можно использовать для расчета испаряемости при моделировании процесса шлюзования.

Поправочные коэффициенты на микроклимат и оазисный эффект не вводились, так как использовались показатели погодных условий непосредственно на месте эксперимента.

На рисунках 4.5 и 4.6 приведена динамика суточных температур и осадков, по которым можно судить о погодных условиях. В течение двух лет экспериментальных метеонаблюдений можно выделить периоды устойчивых циклонов с относительно теплым воздухом и значительными осадками (условно названные влажным), и периоды устойчивого антициклона с высокими температурами и малым количеством осадков (условно названные сухим). Эти влажные и сухие периоды метеонаблюдений отражаются на глубинах грунтовых вод и влажности почвы. Количественно эти периоды подтверждаются: в 2013 году июнь был нежаркий и влажный, а июль – теплый и сухой (температура воздуха в среднем составила 15,6 и 17,2°С соответственно, а сумма осадков 65 и 35 мм, дефицит увлажнения, то есть разность между испаряемостью и осадками соответственно: –25 и +31 мм); в 2014 году июнь также был нежаркий и влажный, а июль и август – теплый и очень сухой (температура воздуха в среднем +17,2 и +18,7 °С, осадки 106 и 59 мм, дефицит увлажнения –20 и +103 мм, соответственно).

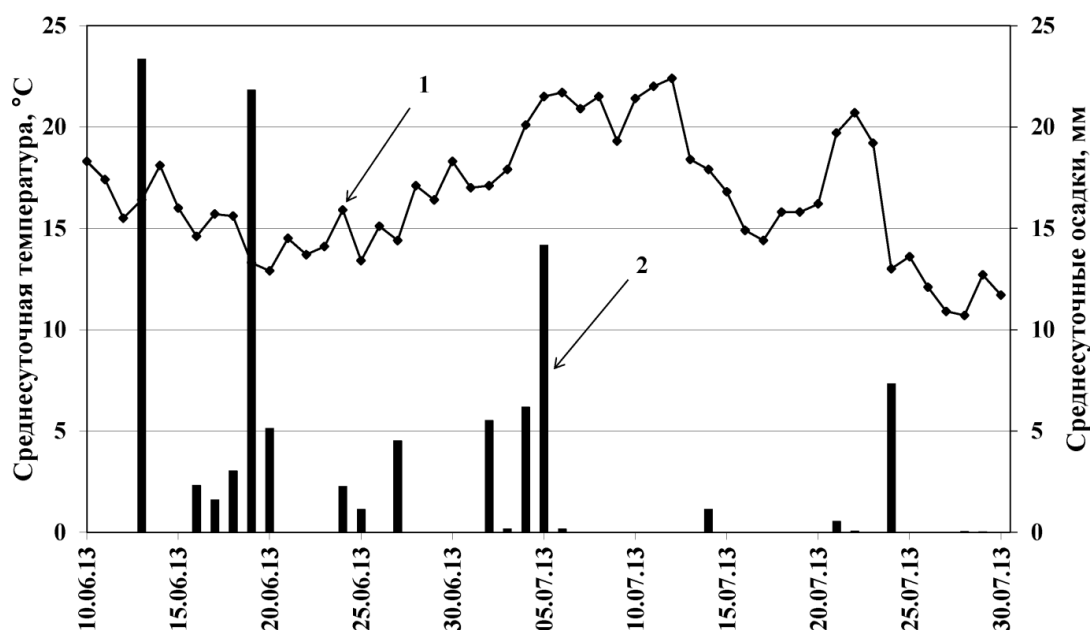


Рисунок 4.5 – Графики температуры и осадков в 2013 году: 1 – среднесуточная температура воздуха, °С; 2 – суточные осадки, мм

Как видно из рисунка 4.7, во влажный период осадки преобладают над испаряемостью, что приводит к отрицательному дефициту: за 2013 году дефицит в этот период в среднем составляет –1,6 мм, а в 2014 году увеличивается до –0,8 мм; а в сухой период высокая испаряемость приводит к увеличению дефицита (до

положительного), который в 2013 году равен 1,9 мм, а в 2014 году равен 2,0 мм. Эта динамику можно совместить с динамикой основных показателей эксперимента: глубин грунтовых вод и влажности поверхностного слоя почвы для объяснения их изменчивости [52].

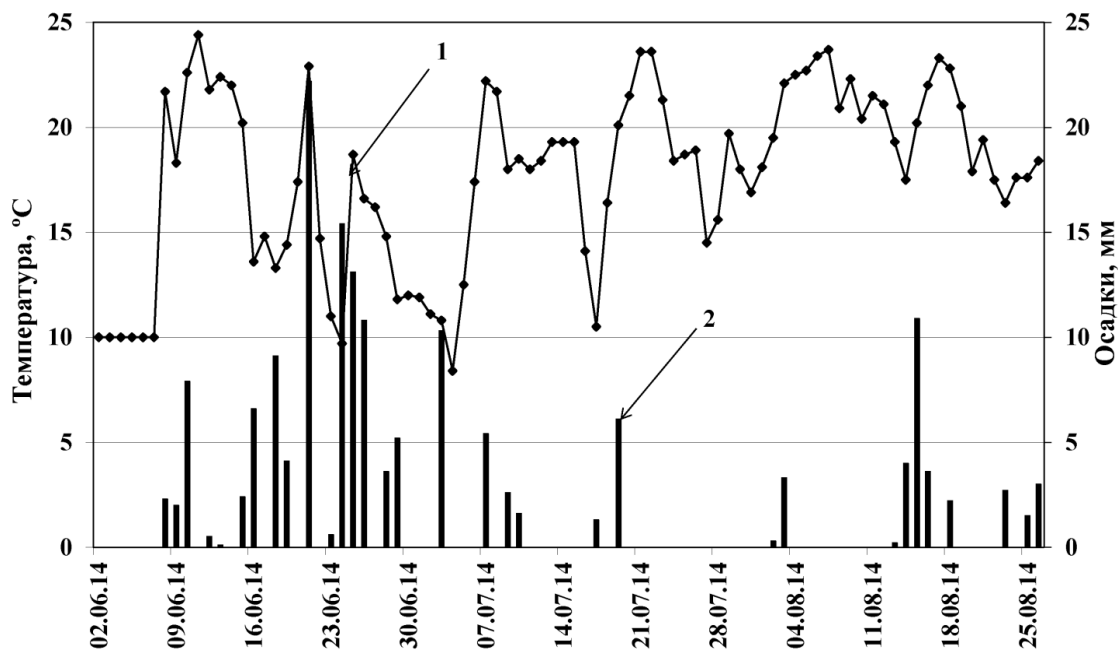


Рисунок 4.6 – Графики температуры и осадков в 2014 году: 1 – среднесуточная температура воздуха, °C; 2 – суточные осадки, мм

Динамика дефицита увлажнения в оба года показана на рисунке 4.7.

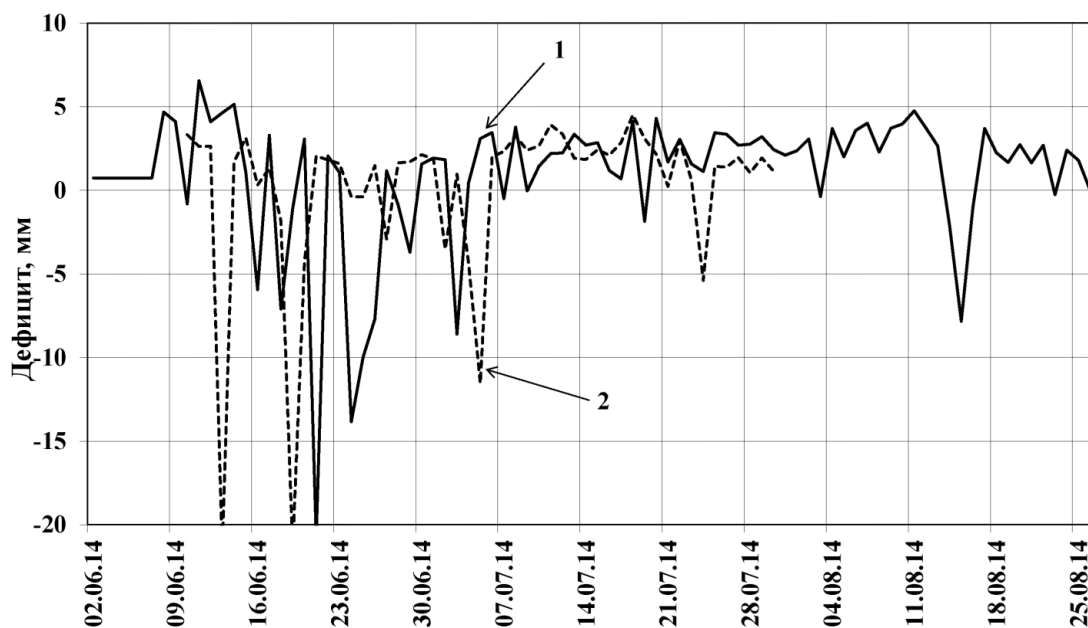


Рисунок 4.7 – Динамика дефицитов увлажнения: 1 – суточный дефицит в 2014 году; 2 – суточный дефицит в 2013 году

### 4.3 Почвы опытного участка

Рельеф поверхности земли (в пределах осушенного болота) равнинный с преобладанием уклонов поверхности 0,0015...0,0300.

Почвы экспериментального участка образовались в результате осушения и окультуривания мощных низинных торфяно-болотных отложений, на которых в процессе почвообразования сформировались торфяные болотные почвы на базе травяно-древесно-осоковых торфов грунтового типа питания [43].

Профиль торфяно-болотных отложений представлен торфяной залежью мощностью 2,3 м (таблица 4.2). Торф пахотного горизонта землисто-черного цвета зернисто-комковатой слабосвязанной структуры преимущественно древесный, реже древесно-осоковый. Степень разложения органического вещества торфа в пахотном слое 60...70 % и снижается по глубине до 25...30 %. Плотность торфа 1,52...2,13 г/см<sup>3</sup>, зольность торфа 22,2...24,6 %. Коэффициент фильтрации по глубине залежи изменяется и находится в пределах 0,2...1,2 м/сут. Торфяная залежь подстиляется водонасыщенными мелкозернистыми песками [64].

Таблица 4.2 – Почвы и грунты на экспериментальном участке

Слой, см	Горизонт	Описание
0...20	<i>A<sub>0</sub></i>	Дерновый слой, очес. Черный, травяно-осоково-древесный, сильно разложившийся, зернисто-комковатой структуры, рыхлый торф. Обильные корни трав.
20...65	<i>T<sub>1</sub></i>	Черный, рыхлый, слабосвязанной структуры, с единичными корнями трав, с одиночными кусками древесины, сильно разложившийся торф.
65...100	<i>T<sub>2</sub></i>	Черный с коричневым оттенком торф, насыщенный водой, с одиночными кусками древесины, сильно разложившийся торф.
100...230	<i>T<sub>3</sub></i>	Темный или серо-коричневый торф, с ленточно-слоистой, различимы корешки древесины и коры. Степень разложения 25...30%. Торф слабозаиленный.
230...280	<i>G</i>	Серый песчаный сапропель, повышенной влажности и примесью органических остатков, хорошо видимых на изломе.
> 280	<i>C</i>	Серый, мелкозернистый песок [64] (рисунок 4.8)



Рисунок 4.8 – Шурф почвенного профиля, открытый на участке исследований: 0...20 см – дерновый слой, очес,  $A_0$ ; 20...65 см – черный торф с единичными корнями растений,  $T_1$ ; 65...100 см – черный с коричневым оттенком торф,  $T_2$

Характеристики почв и грунтов были использованы при моделировании процессов шлюзования.

#### 4.4 Исследование шлюзования осушительных каналов

Летом 2014 г. на экспериментальном участке для проведения опытного шлюзования использовался существующий канал-осушитель глубиной около 1,1 м и с межканальным расстоянием около 40 м (рисунок 4.3). Абсолютную отметку уровня воды в шлюзованном бьефе канала поддерживали в пределах  $133,86 \pm 0,04$  м, глубина воды в канале при шлюзовании колебалась в пределах  $0,96 \pm 0,04$  м. Период шлюзования с 10.06.2014 по 18.08.2014. Ежедневно измерялись глубины грунтовых вод и нивелиром определялись их отметки (для учета микрорельефа). По этим данным, а также по расчетам с помощью математической модели [17] строились графики (рисунок 4.9). На рисунке 4.9 выборочно показаны графики колебания уровня грунтовых вод по скважинам «23 опыт» и «24 опыт» (рисунок 4.3), и по двум расчетным скважинам, обозначенным при моделировании процес-

са шлюзования как «Скв. 9 модель» и «Скв. 10 модель», расположенным на таких же расстояниях 12 и 22 м соответственно от оси канала.

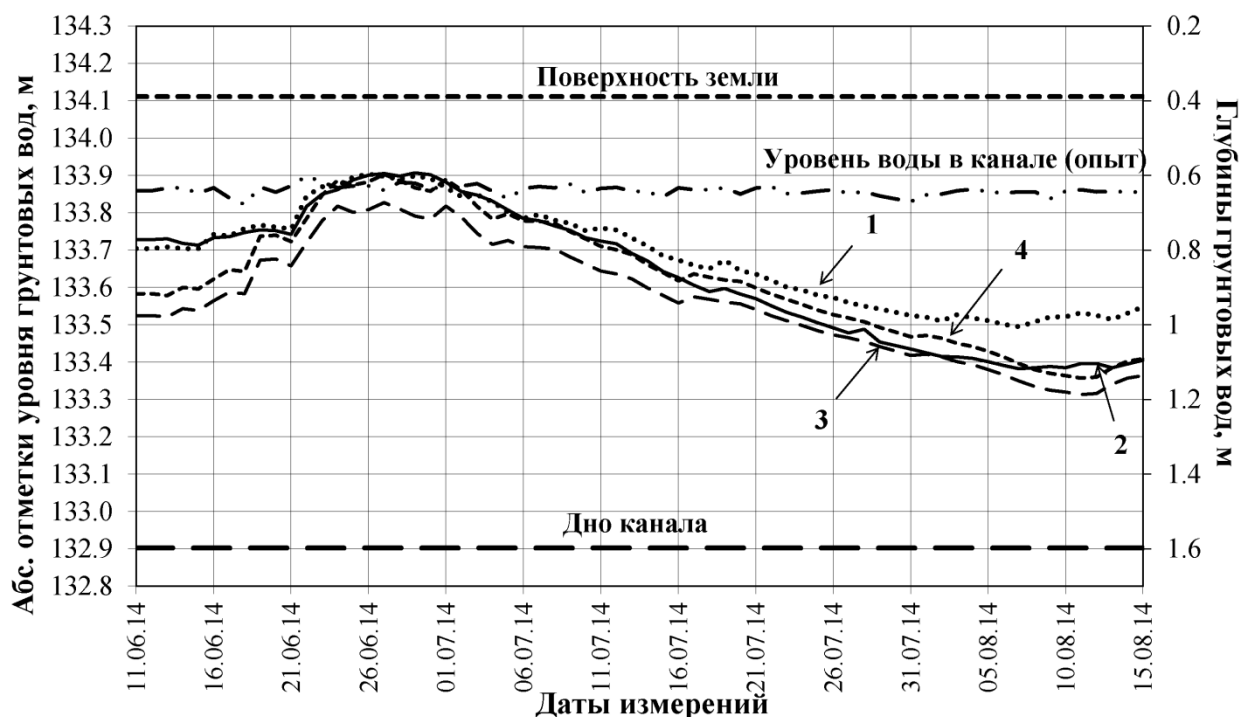


Рисунок 4.9 – Сравнение результатов моделирования и полевого опыта при шлюзовании канала в 2014 году: 1, 2 – уровни грунтовых вод, полученные опытным путем в скважинах 23 и 24 соответственно; 3, 4 – уровни грунтовых вод, полученные по модели в скважинах 10 и 9 соответственно

В начале шлюзования уровни грунтовых вод закономерно повышаются до глубины 0,2...0,3 м, этому способствовали обильные дожди (рисунок 4.9). Во второй жаркий засушливый период, несмотря на поддержание уровней воды в канале подкачкой из пруда-копани в шлюзуемом бьефе канала на тех же отметках, уровни грунтовых вод заметно опустились в связи увеличения испарения в конце срока шлюзования – до глубины 0,4...0,5 м. Это снижение сопровождалось уменьшением влажности торфяника, следовательно, и снижением эффективности шлюзования.

Диапазон абсолютных отметок уровней грунтовых вод для сравниваемых пар скважин (9 23 и 10 24) показан в таблице 4.3 вместе с пределами их изменений. Эти значения и сами графики колебания уровней во времени показывают, что опытные и смоделированные уровни отличаются незначительно, на 8...10

сантиметров, что подтверждает правильность использованной математической модели, принятых значений водно-физических свойств и величин инфильтрационного питания.

Таблица 4.3 – Анализ глубин грунтовых вод при шлюзовании в 2014 г.

В метрах

Скважины	Абсолютные отметки уровня грунтовых вод			
	минимальные	максимальные	диапазон	средние
Скв 9 мод	133,36	133,90	0,54	133,62
Скв 10 мод	133,31	133,83	0,52	133,57
Скв 23 опыт	133,50	133,90	0,40	133,70
Скв 24 опыт	133,38	133,91	0,53	133,65

Параллельно велись наблюдения на участке канала без шлюзования (рисунок 4.10). На рисунке 4.10 показаны абсолютные отметки и глубины грунтовых вод вблизи канала на расстоянии 6 м от его оси (скважины 5 модель и *E* опыт) и примерно посередине межканальной полосы (скважины 10 модель и *K* опыт), полученные в полевом опыте и моделированием. Ход глубин грунтовых вод объясняется, прежде всего, очень неравномерным инфильтрационным питанием, во влажный период наблюдается заметный рост «фильтрационного» бугра, а при наступлении засушливого периода он рассасывается, уровни грунтовых вод снижаются и к концу лета опускаются ниже дна канала, вследствие чего его осушающая способность исчезает, поэтому измерения были прекращены 1-го августа. Вид графиков объясняется различным удалением скважин или расчетных створов от канала, графики расположены близко друг к другу.

Такая погода и снижающиеся уровни грунтовых вод на осушенном торфянике в стандартных условиях приводят к заметному уменьшению влажности торфяника и, как следствие, к повышению пожарной опасности при отсутствии шлюзования [52].

Максимальные и минимальные глубины грунтовых вод (полученные опытным путем и рассчитанные по модели), диапазоны их изменения и средние

значения на измеренном участке канала в осушаемых условиях приведены в таблице 4.4.

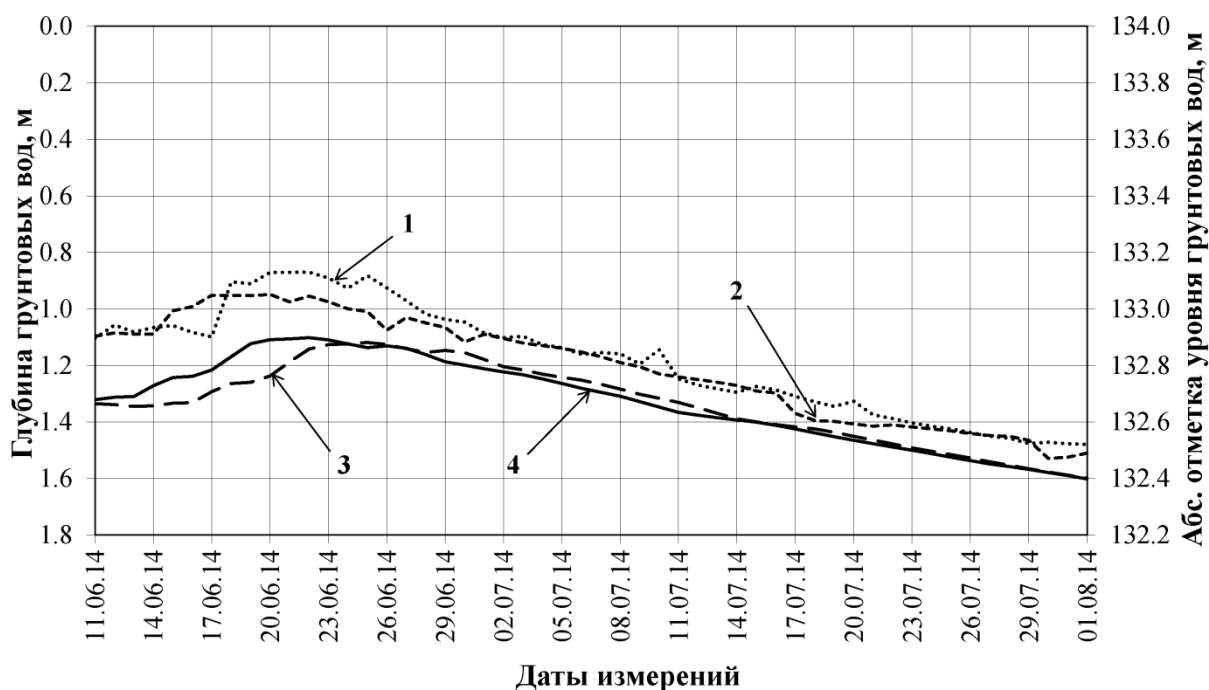


Рисунок 4.10 – Сравнение результатов моделирования и полевого опыта формирования уровней грунтовых вод при работе части канала без шлюзования в условиях в 2014 года: 1, 2 – уровни грунтовых вод, полученные опытным путем в скважинах К, Е; 3, 4 – уровни грунтовых вод, полученные по модели в скважинах 10, 5

Таблица 4.4 – Анализ глубин грунтовых вод на осушенном участке канала  
В метрах

Скважины	Глубины грунтовых вод			
	минимальные	максимальные	диапазон	средние
Скв 5 мод	1,10	1,62	0,52	1,36
Скв 10 мод	1,12	1,62	0,50	1,37
Скв Е опыт	0,90	1,42	0,52	1,16
Скв К опыт	0,82	1,41	0,59	1,12

Отличия в рассчитанных по модели и полученные опытным путем глубинах грунтовых вод незначительны 4%, что и в данном случае при отсутствии шлюзования говорит о том, что использованная модель достаточно точно хорошо описывает процесс формирования грунтовых вод при иных условиях их формирования.



#### 4.5 Исследование влияния шлюзования на поверхностную влажность торфа

Для обеспечения противопожарной безопасности торфяной залежи необходимо поддерживать объемную влажность верхнего слоя торфа более 50 % полной влагоемкости [27, глава 2]. Эти условия обеспечиваются, в условиях опыта, подъемом уровня воды в каналах до глубин около 0,97 м.

Для измерения влажности торфа использовался влагомер НН2-SM300. Он измеряет объемную влажность почвы в долях полной влагоемкости или пористости. Влагомер фиксирует изменения диэлектрической постоянной, трансформирует данные в милливольтный сигнал, пропорциональный содержанию влаги в почве. Прибор состоит из прочного водонепроницаемого корпуса с датчиком из нержавеющей стали в виде игл длиной 10 см и диаметром 3,2 мм. Диапазон измерения: 0,05...0,85 долей пористости. Точность измерений составляет  $\pm 3\%$ . Измерения проводились в поверхностном слое торфа 0...10 см и в слое 35...45 см ежедневно, после измерения уровня грунтовых вод. В последнем случае бурились скважины глубиной 35 см и в их дно вдавливались те же иглы длиной 10 см.

Результаты измерений приведены на рисунке 4.11.

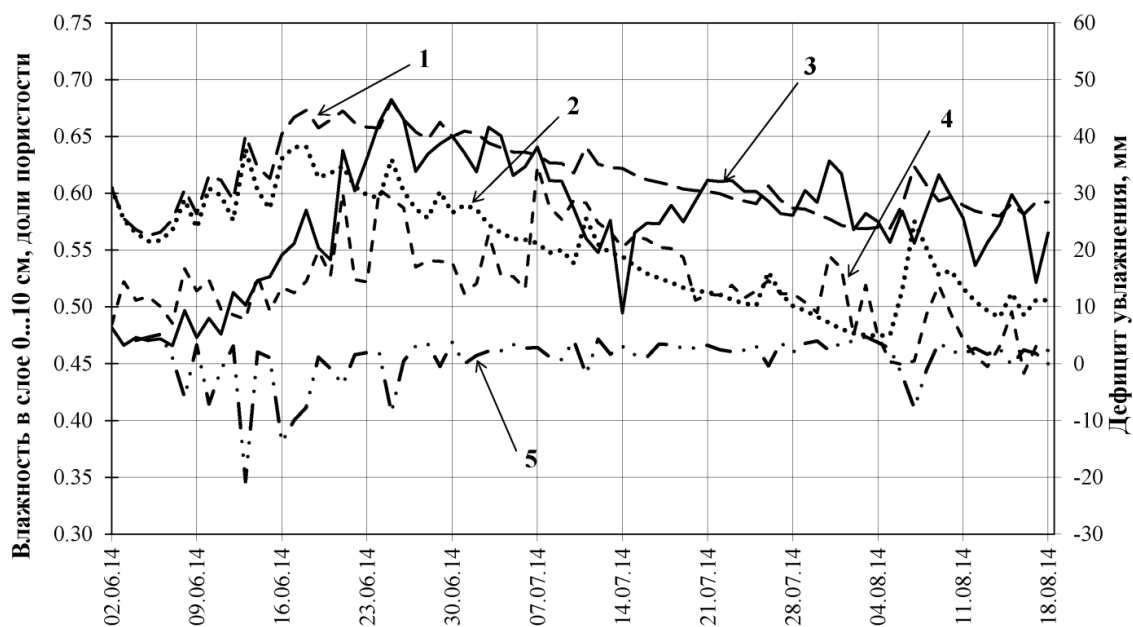


Рисунок 4.11 – Сравнение влажности почвы в слое 0...10 см (доли пористости), полученные опытным путем и при моделировании: 1 – влажность почвы по моде-

ли при шлюзовании; 2 – то же без шлюзования; 3– влажность почвы опытная при шлюзовании; 4 – то же без шлюзования; 5 – дефицит увлажнения

На этом рисунке сравнивались поверхностные (в слое 0...10 см) значения влажности при шлюзовании и без него, полученные моделированием и экспериментально в реальных погодных условиях [21] на фоне изменения дефицита увлажнения. Графики влажности почвы подобны графикам дефицита увлажнения, отмечается временное совпадение этих пиков. Результаты усреднялись по всем скважинам наблюдательных створов, их анализ приведен в таблице 4.5

В таблице 4.5 приведены данные о влажности с разбивкой на влажные и сухие периоды. Видно довольно значительное отличие влажностей, в сухой период влажность снижается до опасного предела (0,496 без шлюзования против 0,585 при шлюзовании). По-видимому, необходимо увлажнять осушенные территории с помощью шлюзования и регулировать интенсивность увлажнения с учетом повторяемости таких периодов.

Таблица 4.5 – Влажность в поверхностном слое почвы в разные по увлажнению периоды

В долях пористости

Периоды	Варианты			
	Без шлюзования опытные	Шлюзование опытные	Без шлюзования при моделировании	Шлюзование при моделировании
02.06 – 18.08 весь	0,521	0,576	0,551	0,614
02.06 – 13.07 влажный	0,538	0,571	0,584	0,632
14.07 – 18.08 сухой	0,496	0,585	0,507	0,591

Детальная оценка отличия экспериментальных значений и полученных по модели показывает, что она незначительна и лежит в пределах 0,011...0,046 долей пористости или 3...5%, иными словами, использованная модель [21] адекватно реагирует не только на изменения глубины грунтовых вод, но и на изменения влажности почвы.

Используя моделирование, мы оценили, как меняется влажность почвы в слоях 0...10 см и 35...45 см (рисунок 4.12).

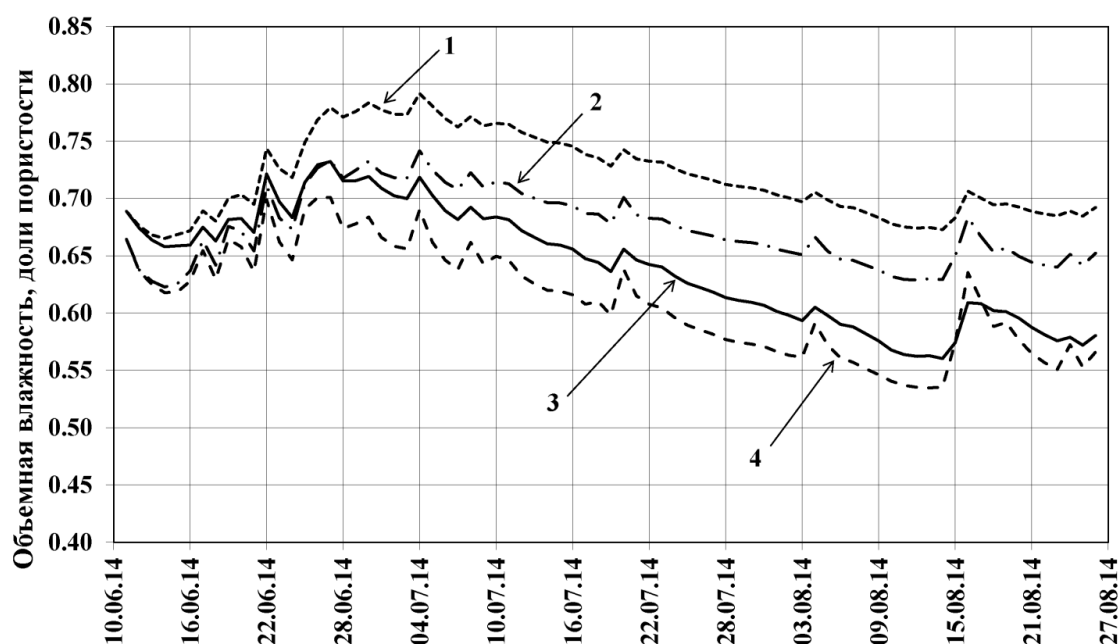


Рисунок 4.12 – Влияние глубины измерения влажности почвы (доли пористости):

1 – средняя влажность в слое 35...45 см шлюзование по модели; 2 – то же в слое 0...10 см; 3 – средняя влажность в слое 35...45 см без шлюзования по модели; 4 – то же в слое 0...10 см

Сравнение этих результатов (рисунок 4.12) показывает, что наблюдается синхронное изменение влажности, вызванное смещением слоев измерения. Из-за близости грунтовых вод заглубливание измеряемого слоя приводит к заметному росту влажности на глубине 35 см. Так как измеряемый 35 см слой приближается к уровню грунтовых вод при шлюзовании, то это приводит к росту влажности до 0,719 (в среднем за весь период наблюдений). В сухой период, практически без дождей, при отсутствии шлюзования влажность на поверхностном 10-ти см слое по сравнению с глубиной 35 см уменьшается из-за иссушения верхнего слоя (в пределах 0,535 ... 0,560), что при принятом критерии влажность верхнего слоя почвы уже подходит к критической (описанной выше). Таким образом, при оценке эффективности шлюзования надо измерять влажность почвы в слое 0...10 см. Для этого также необходимо включать в оценку засушливые теплые периоды с расчетной обеспеченности дефицита на уровне около 10%, правда, для нахождения такого года нужно иметь в виду наблюдаемое в последние годы изменение

подвижности циклонов и антициклонов в Европейской части РФ, что делает многолетние ряды статистически неоднородными. Тогда возможно понижение расчетной обеспеченности [52].

#### 4.6 Выводы по главе 4

1. В результате проведения двухлетних полевых экспериментов на стационаре кафедры в деревне Селково Сергиево-Посадского района Московской области изучены процессы шлюзования осушенного торфяника для противопожарных целях. В частности установлены:

- суточные величины инфильтрационного питания грунтовых вод, то есть разность между осадками и испаряемостью с водной поверхности, которые хорошо аппроксимируются формулой Н.Н. Иванова с усреднением температуры и влажности воздуха за декадный период;

- сильная изменчивость в течение теплого периода водообеспеченности территории вследствие малоподвижности циклонов и антициклонов с образованием продолжительных влажных и сухих периодов;

- эта особенность территории непосредственным образом влияет на эффективность шлюзования, в том числе и на подъем уровня грунтовых вод и влажность верхнего 10 см слоя торфяника;

- применительно к условиям экспериментального участка оказалось, что в 2014 году исследований подъем уровня воды в канале около 0,97 м (или 0,40 м от бровки) обеспечивает влажность верхнего слоя торфяника в сухой период около 0,585 доли пористости, то есть безопасная противопожарная;

2. Проверена возможность использования математической модели А.И. Голованова и Ю.И. Сухарева для оценки эффективности противопожарного шлюзования путем сравнения рассчитанных и экспериментально определенных глубин грунтовых вод, а также влажности верхнего слоя торфяника, которую невозможно определить другими известными способами; различия в глубинах грунтовых вод и влажности торфяника оказались несущественными, что говорит о работоспособности модели, правильности принятых значений водно-физических св.

## ГЛАВА 5. РЕЖИМ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ШЛЮЗОВАНИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

В предыдущих главах дан обзор противопожарных методов на осушенных торфяниках, приведена дополненная нами математическая модель шлюзования, проверенная полевыми исследованиями. Это позволило нам дать многолетний прогноз действия противопожарного шлюзования, опираясь на длительные (53 летние) наблюдения на всех 5-ти действующих метеостанциях в пределах Мещерской низменности (Павловский Посад, Черусти, Владимир, Тума, Шилово).

Мещерская низменность богата болотами, в том числе и выработанными, а также используемыми в сельском хозяйстве. Близость к Москве и к другим городам ближнего и дальнего Подмосковья, задымление которых при пожарах создает неудобства и опасность для людей, делает проблему предупреждения пожаров весьма актуальной. Характерным для этого был 1972 год, экстремальный (с повторяемостью менее 1%) по засушливости, дефицит увлажнения, то есть разность между испаряемостью и осадками, составил на разных станциях от 434 до 608 мм, и превысил примерно в 2,1...4,6 раза норму осадков за теплый период (132...225 мм), а в предшествующем экстремально влажном 1962 году наблюдался избыток влаги и дефицит колебался по станциям от –63 до –304 мм (таблицы 1.1...1.5) [15].

Изменчивость дефицита увлажнения существенно превышает таковую для осадков и испаряемости. На рисунке 5.1 показана изменчивость годовых сумм осадков теплого периода и испаряемости за тот же период в сравнении с дефицитом увлажнения для станции Тума. Линии тренда осадков и транспирации слегка наклонны, а угловые коэффициенты уравнений регрессии не велики, что говорит о незначительном многолетнем изменении погодных условий для данной местности, за исключением тренда дефицита увлажнения, который имеет тенденцию к уменьшению.

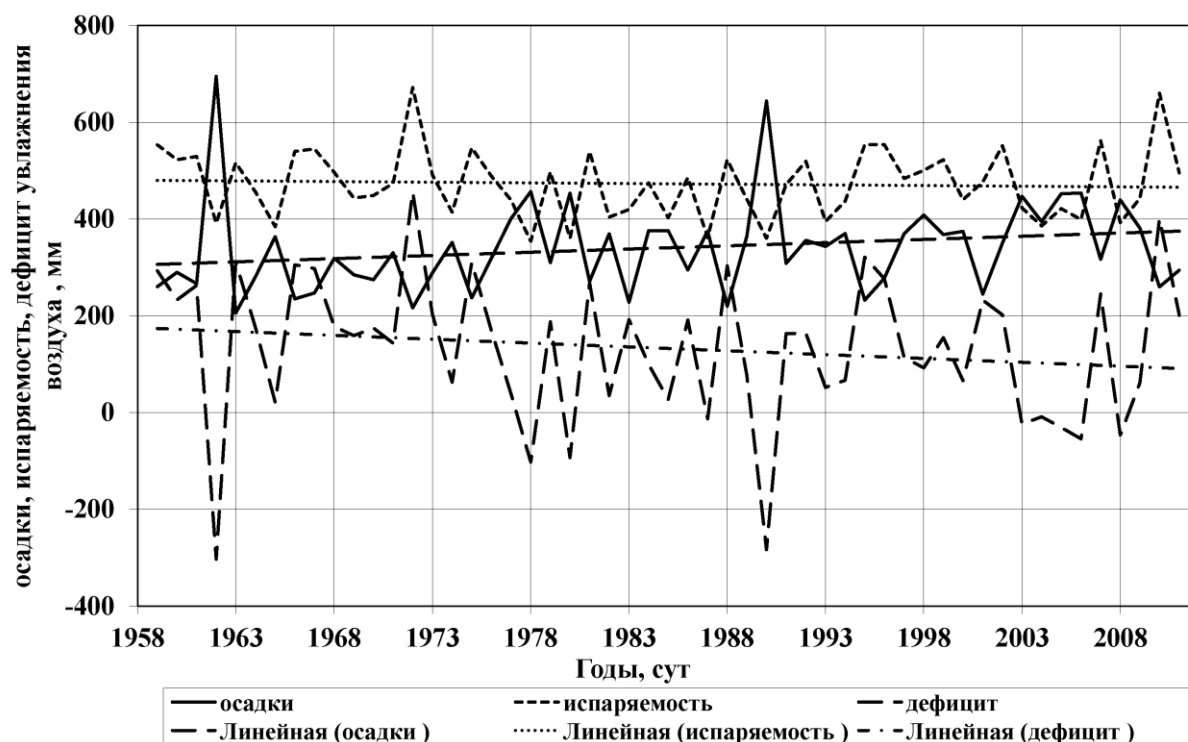


Рисунок 5.1 – Изменчивость и тренды осадков, испаряемости и дефицита увлажнения воздуха по метеостанции Тума за теплые периоды, мм

Считаем, что для осушенных торфяников, занятых многолетними травами, наиболее эффективным и экологичным увлажнением в жаркий период лета является регулируемое шлюзование, которое помимо противопожарного эффекта на данной территории, в силу её некоторой засушливости, ликвидирует частую переосушку торфяных почв и повышает плодородие земель.

В таблице 5.1, составленной Ю.И. Сухаревым [39] приведены использованные нами в прогнозах геоморфологические параметры тех физико-географических районов Московской области, которые входят в состав Мещерской низменности. Назначив характерные длины катен (от местной речки-водоприемника до водораздела) и взяв отношение длины низины (супераквальной фации или болота) и длины всей катены, получаем показатель заболоченности территории, который с осреднением принят равным 0,20 или 20%, что характерно для Мещерской низменности. Для моделирования шлюзования были использованы осредненные водно-физические свойства торфяной залежи и окружающей болото территории (таблицы 5.2 и 5.3).

Таблица 5.1 – Геоморфологические параметры физико-географических районов Московской области

Провинции	Районы	Метеостанция	Горизонтальная расчлененность территории	Средняя ширина катен, м	Вертикальная расчлененность рельефа	Положение морфоизографы <i>K</i>
Верхне-Волжская	Западный	Волоколамск	0,43	1160	15	0,33
	Восточный	Клин Дмитров	0,40	1250	11	0,39
Смоленская	Западный	Можайск	0,44	1130	20	0,35
	Восточный	Можайск	0,44	1130	26	0,37
Московская	Западный	Н-Иерусалим	0,43	1160	29	0,35
	Восточный	Дмитров	0,39	1280	29	0,31
Москворецко-Окская	Северный	Нарофоминск	0,40	1250	20	0,36
	Южный	Серпухов	0,43	1160	28	0,31
<b>Мещерская</b>	<b>Западный</b>	<b>Павлов-Посад</b>	<b>0,37</b>	<b>1350</b>	<b>14</b>	<b>0,37</b>
	<b>Восточный</b>	<b>Егорьевск Черусти</b>	<b>0,32</b>	<b>1560</b>	<b>11</b>	<b>0,68</b>
Заокская	Западный	Кашира	0,43	1160	40	0,32
	Восточный	Коломна	0,40	1250	40	0,39
Среднерусская	–	–	0,40	1250	40	0,36

Таблица 5.2 – Водно-физические свойства торфов и подстилающих пород

[23]

Почва, породы	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Кф, м/сут	Нк, м	Пористость, %	Водоотдача, относит. ед.
1. Ат - торф:					
- верховой	0,05...0,1	0,3...0,8	0,55...0,65	90...95	0,02...0,1
- переходный	0,11...0,2	0,5...1,5	0,6...0,8	85...90	0,05...0,1
- низинный	0,2...0,3	1...2	0,65...0,9	75...85	0,08...0,14
2. АG - суглинок оглеенный	1,4...1,6	0,1...0,3	1...2	45...50	0,01...0,03
3. G - подстилающая порода:	1,3...1,5	0,6...1,0	1...1,5	40...45	0,05...0,08
- суглинок легкий	1,3...1,5	0,8...1,5	0,4...0,6	35...40	0,08...0,15
- супесь	1,5...1,6	1...2	0,1...0,2	30...40	0,1...0,2
- песок					

Таблица 5.3 – Физические свойства торфяных болотных почв (по И.С.Лупиновичу, Т.Ф. Голуб и др.)

Почвы	Степень разложения, %	Зольность, % на абсолютно сухую почву	pH водной вытяжки	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влагоемкость, % на абсолютно сухую почву
Верховые	5...30	1,3...5,8	2,6...4,2	0,04...0,08	600...1200
Переходные	10...45	5,0...10,0	3,0...5,3	0,11...0,16	500...950

Почвы	Степень разложения, %	Зольность, % на абсолютно сухую почву	pH водной вытяжки	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влагоемкость, % на абсолютно сухую почву
Низинные	15...60	7,5...17,0	4,8...7,0	0,10...0,25	460...870
Низинные старорощные	30...75	11,0...23,0	6,0...7,0	0,20...0,30	260...450
Пойменно-болотные (низинные)	30...60	10,0...30,0	4,5...7,0	0,20...0,30	350...400

Предлагается использовать понятие «режим шлюзования» (РШ) по аналогии с предложенным А.И. Головановым в 1986 году понятием «мелиоративный режим», которое уже вошло в мелиоративную практику [19]. В данном случае мы предлагаем понимать РШ как совокупность требований к параметрам шлюзования: уровням воды в каналах или напорам в дренах, срокам шлюзования, объемам водоподачи и комплексной оценке эффективности шлюзования в увязке с продуктивностью возделываемых сельскохозяйственных культур.

Получить показатели режима шлюзования для всех лет метеонаблюдений экспериментально практически невозможно, поэтому мы использовали упомянутую выше (глава 3) двумерную модель влагопереноса в катене А.И. Голованова и Ю.И. Сухарева «Шлюзование» [17] с некоторыми нашими дополнениями. В этой модели использован геосистемный (ландшафтный) подход, при котором местный водосбор, включающий и осушенное низинное болото, представлен в виде катены, состоящей из трех взаимодействующих фаций: элювиальной (возвышенной), трансэлювиальной (окружающей болото склонов) и супераквальной, то есть собственно болото. Питание болота осуществляется за счет фильтрации из вышележащих склонов и возвышенностей. Именно наличие последних приводит к образованию болот поступления на них дополнительных вод, которые надо обязательно учитывать для достоверного моделирования режима шлюзования.

Принято, что осушенные торфяники осваиваются для высокопродуктивных кормовых смесей, густой травостой которых обеспечивает увеличение пожаростойкости по сравнению с измельченной и иссушенной гидрофобной торфяной



массой с плохим впитыванием воды и легко подверженной возгоранию даже от окалины, вылетающей из выхлопных труб двигателей.

Была выполнена примерная оценка продуктивности травостоя, зависящая только от одного водного фактора, то есть от отклонения влажности в корнеобитаемом слое относительно оптимальной. Для этого использовалась модель продуктивности В.В.Шабанова [63].

Влияние влажности почвы на урожайность можно определить по формуле:

$$K_{\omega} = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \beta_i, \quad (5.1)$$

где  $i$  – номер декады вегетационного периода;

$n$  – число декад;

$\alpha_i$  – вклад каждой декады в урожайность,  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;

$\beta$  – относительная продуктивность:

$$\beta = (\theta/\theta_{\text{opt}})^{\gamma\theta_{\text{opt}}} [(1-\theta)/(1-\theta_{\text{opt}})]^{\gamma(1-\theta_{\text{opt}})}, \quad (5.2)$$

$\theta$  – относительные доступные влагозапасы в корнеобитаемом слое почвы в каждую декаду:

$$\theta = (\omega - ВЗ)/(p - ВЗ), \quad (5.3)$$

где  $\omega$  – влажность почвы;

ВЗ – влажность завядания;

$p$  – пористость;

$\theta_{\text{opt}}$  – относительная оптимальная влажность для каждой декады  $\theta_{\text{opt}} = (\omega_{\text{opt}} - ВЗ)/(p - ВЗ)$ ;

$\omega_{\text{opt}}$  – оптимальная влажность для каждой декады;

$\gamma$  – коэффициент чувствительности растения на неоптимальность влагозапасов в данную декаду.

Зависимость относительной продуктивности  $\beta$  от относительных влагозапасов имеет несимметричную куполообразную форму (рисунок 5.2), поэтому любые отклонения влажности от оптимальной ведут к снижению продуктивности.

Абсолютная фактическая продуктивность  $Y_{\text{факт}}$  определяется как доля потенциальной продуктивности  $Y_{\text{пот}}$  по формуле:

$$Y_{\text{факт}} = Y_{\text{пот}} \cdot K_{\omega}, \quad (5.4)$$

Примерный состав травосмеси: клевер луговой, тимофеевка луговая, овсяница луговая или ежа сборная [38].

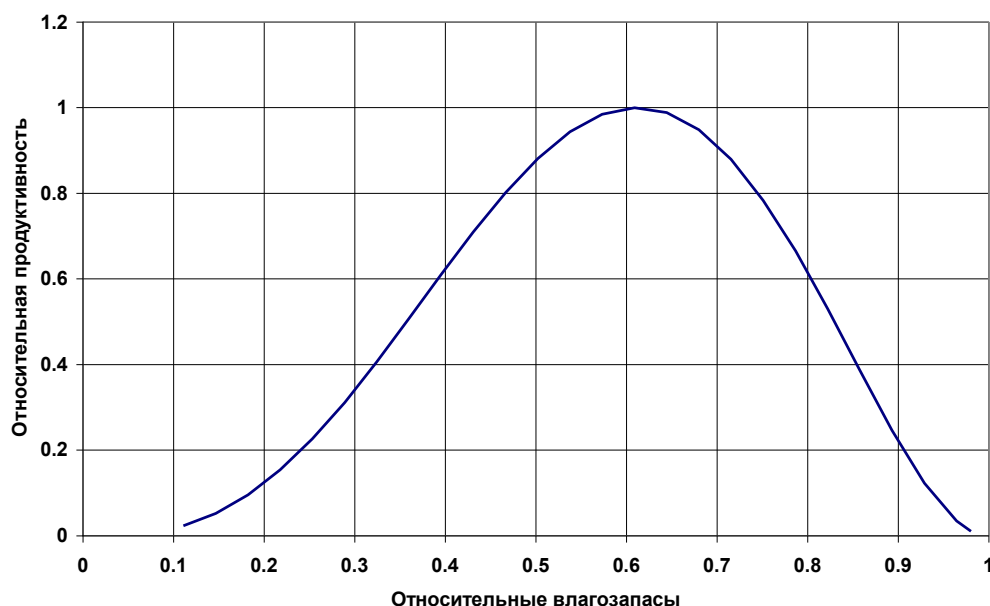


Рисунок 5.2 – Форма кривой зависимости продуктивности от влагозапасов

Примененная модель «Шлюзование» была проверена нашими экспериментальными данными (глава 4) на осушенных пойменных торфяниках в пойме реки Дубны в 2013 и 2014 годах [52] на землях стационара кафедры мелиорации и рекультивации земель.

Главный противопожарный эффект шлюзования заключается в повышении до безопасного уровня влажности верхнего слоя торфяника. По литературным данным, многие считают пожаробезопасной влажность поверхностного слоя торфа на уровне 0,5 ... 0,6 пористости [27, 7]. Следовательно, надо оперировать с влажностью почвы, а не с глубиной грунтовых вод, хотя они связаны.

Предпочтительней прямой счет влажности, но известные способы расчета шлюзования (С.Ф. Аверьянов, Н.Н. Веригин, Д.А. Манукян и другие) не дают описания влажности, а только напоров в зоне полного насыщения.

Термодинамический подход позволяет помимо гравитационного рассматривать и другие составляющие (каркасный и капиллярный) потенциала почвенной

влаги а, следовательно, вычислять влагосодержание среды [17].

При многолетних прогнозах надо рассчитывать цепочку связанных начальными условиями лет, поэтому надо вводить при расчетах каждый год целиком, в виде гидрологического года, который начинается для данной местности 1 апреля, то есть с начала теплого периода и до его конца, когда температура воздуха превышает  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (принят равным 180 суток для всех метеостанций), и следующий за ним холодный период со снеговым покровом, когда поступление влаги прекращается, испарение отсутствует, а вода накапливается на поверхности. Учтя по известным формулам испарение с поверхности снега [42] и используя величины коэффициента поверхностного стока по А.Н. Костякову [45, 51], можно ориентировочно найти объем поверхностного стока и, следовательно, слой весеннего увлажнения, который и принимается начальным для следующего года.

Эти прогнозы явились основой зонирования показателей режима шлюзования (подъема уровня воды в осушительных каналах или напора в дренах, влажности, глубин грунтовых вод, объема дренажного стока, объема подачи воды для шлюзования и другие). Было рассмотрено три варианта расчета для каждой из 5-ти метеостанций:

1) так называемое «стандартное» осушение с глубиной регулирующей и ограждающей сети, рекомендуемой нормами и правилами, обеспечивающей минимально допустимую норму осушения, которая в засушливые годы создает некоторую переосушку и которая имеет место в практике осушения болот Мещеры. Это явление вызывает необходимость создания осушительно-увлажнительных систем;

2) «мягкое» шлюзование с поддержанием уровней воды в канале на 0,8 м ниже поверхности земли;

3) «решительное» шлюзование с поддержанием уровней воды в канале на 0,5 м ниже поверхности земли.

В последнем случае уровни грунтовых вод уже заходят в пределы корнеобитаемой зоны, начинают угнетать растения и снижать продуктивность посевов,

но создают гарантированное противопожарное увлажнение поверхностного слоя торфа.

В наших прогнозных расчетах глубину систематических дрен принимаем равной 1,0...1,2 м, ограждающей сети (ловчих дрен) назначали в пределах 1,2...1,4 м.

Результаты прогноза показателей шлюзования приведены в таблице 5.4. Всего было выполнено 15 прогнозов для пяти метеостанций и для трех вариантов: без шлюзования, шлюзование с подъемом уровня воды в каналах или напором в дренах ниже поверхности земли на 0,8 м, аналогичное – ниже на 0,5 м.

Так как свойства торфяника приняты одинаковыми для всех метеостанций, то влажность верхнего 25 см слоя мало отличается, то результаты шлюзования зависят от варианта шлюзования и от особенностей местного климата. Из таблицы 5.4 видно закономерное уменьшение глубины грунтовых вод и увеличение влажности торфа при подъеме уровней в каналах, так при подъеме уровня воды в канале до 0,8 м и до 0,5 м глубина грунтовых вод уменьшается с 0,85 до 0,58 м, а влажность в слое 0...25 см растет с 63 до 74 % пористости. Последнее особенно важно, так как при этом проходит рубеж опасной противопожарной влажности торфа.

Шлюзование с подъемом уровня воды в каналах до 0,5 м обеспечивает достаточную противопожарную влажность, но связано со значительным расходом воды – почти в два раза большим и с заметным снижением продуктивности посевов – до 25%, чем при шлюзовании – до 0,8 м.

По модели В.В. Шабанова зависимость продуктивности растений от водного фактора куполообразная и несимметричная (рисунок 5.2). Поэтому избыточное осушение также снижает продуктивность, как и недоосушка (таблица 5.4). В оптимуме продуктивность стремится к единице (0,95...0,96 при шлюзовании 0,8 м). Абсолютную продуктивность можно получить, расширив число учитываемых факторов, например разное количество фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР), качество семян, агротехнику и т.п.

Таблица 5.4 – Результаты прогноза показателей шлюзования (среднеголетние показатели за 53 года с 1959 по 2011 г.)

Станции, варианты	Осадки, мм*	Испарение, мм*	Боковой приток, мм**	Глубина гр. вод, м***	Влажность, доли пористости****	Относительная урожайность	Дренажный сток, мм			
							Сброс из систематических дрена	Сброс из ловчей дрены	Подача в дрены	Суммарный сброс
<b>ПАВЛОВСКИЙ ПОСАД</b>										
Стандартное осушение	372	353	76	1,10	0,55	0,80	214	55	0	269
Шлюзование до 0,8 м	372	360	45	0,83	0,63	0,95	341	67	169	239
Шлюзование до 0,5 м	362	364	24	0,58	0,74	0,73	439	79	304	214
<b>ЧЕРУСТИ</b>										
Стандартное осушение	344	343	70	1,11	0,55	0,80	178	50	0	228
Шлюзование до 0,8 м	344	349	40	0,84	0,63	0,96	317	63	177	203
Шлюзование до 0,5 м	334	378	9	0,59	0,73	0,74	418	75	313	180
<b>ВЛАДИМИР</b>										
Стандартное осушение	349	365	69	1,14	0,54	0,74	165	47	0	212
Шлюзование до 0,8 м	349	373	32	0,84	0,63	0,95	313	59	194	178
Шлюзование до 0,5 м	341	378	12	0,59	0,73	0,74	414	71	330	155
<b>ТУМА</b>										
Стандартное осушение	340	368	68	1,16	0,53	0,73	153	42	0	195
Шлюзование до 0,8 м	340	377	26	0,85	0,62	0,96	306	54	206	154
Шлюзование до 0,5 м	331	382	6	0,60	0,73	0,75	407	66	343	130
<b>ШИЛОВО</b>										
Стандартное осушение	321	372	65	1,21	0,52	0,65	113	37	0	150
Шлюзование до 0,8 м	321	386	12	0,85	0,62	0,95	265	50	223	82
Шлюзование до 0,5 м	311	391	-8	0,60	0,73	0,73	364	62	358	68

Примечания к таблице: \* - за теплый период; \*\* - за год; \*\*\* - за период шлюзования; \*\*\*\* - средняя влажность в слое 0...25 см за период шлюзования

Шлюзование незначительно изменяет статьи водного баланса в теплый период, наблюдается некоторое увеличение суммарного испарения из-за увеличения влажности верхних слоев и, как следствие, уменьшение стока со шлюзуемого болота в местную речную сеть по сравнению с обычным осушением.

Например, промываемость торфяной почвы при стандартном осушении для метеостанции Черусти по данным прогноза в среднем за все годы равна 225 мм, при шлюзовании до 0,8 м она уменьшается до 213 мм, а при шлюзовании до 0,5 м снижается до 195 мм. В целом это можно рассматривать как положительное явление, уменьшающее вынос питательных элементов и немного снижающее негативное влияние осушения на качество речных вод.

По нашему мнению, эффективным является шлюзование с подъемом уровня воды в канале до 0,8 м, для которого необходима подача воды в среднем для всех 5-ти метеостанций в два раза меньше, чем сток с водосбора (таблица 5.4). В этом варианте обеспечивается влажность 25 см слоя почвы 0,63 доли пористости, тем самым создаются противопожарные условия, возможность выращивать кормовые смеси и густой травостой без переувлажнения почвы.

Для объяснения результатов прогнозов приняты во внимание карта дефицита увлажнения Московской области составленная Ю.И. Сухаревым [16] по 42-х летним рядам метеонаблюдений (рисунок 5.3), и наших изолиний дефицита увлажнения теплого периода средних для всей Мещеры за 53 года (рисунок 1.5), изолиний осадков теплого периода средние для 53 года (рисунок 5.4). Качественно эти карты совпадают.

На этих рисунках отчетливо видно направление наибольшего изменения изолиний дефицитов увлажнения и осадков: с северо-запада на юго-восток. Это направление преимущественного движения циклонов и антициклонов. В таком же направлении меняются и показатели шлюзования: подача воды для шлюзования до 0,8 м средние для 53 лет (рисунок 5.5). Потребность

воды для шлюзования каналов увеличивается пропорционально дефициту увлажнения.

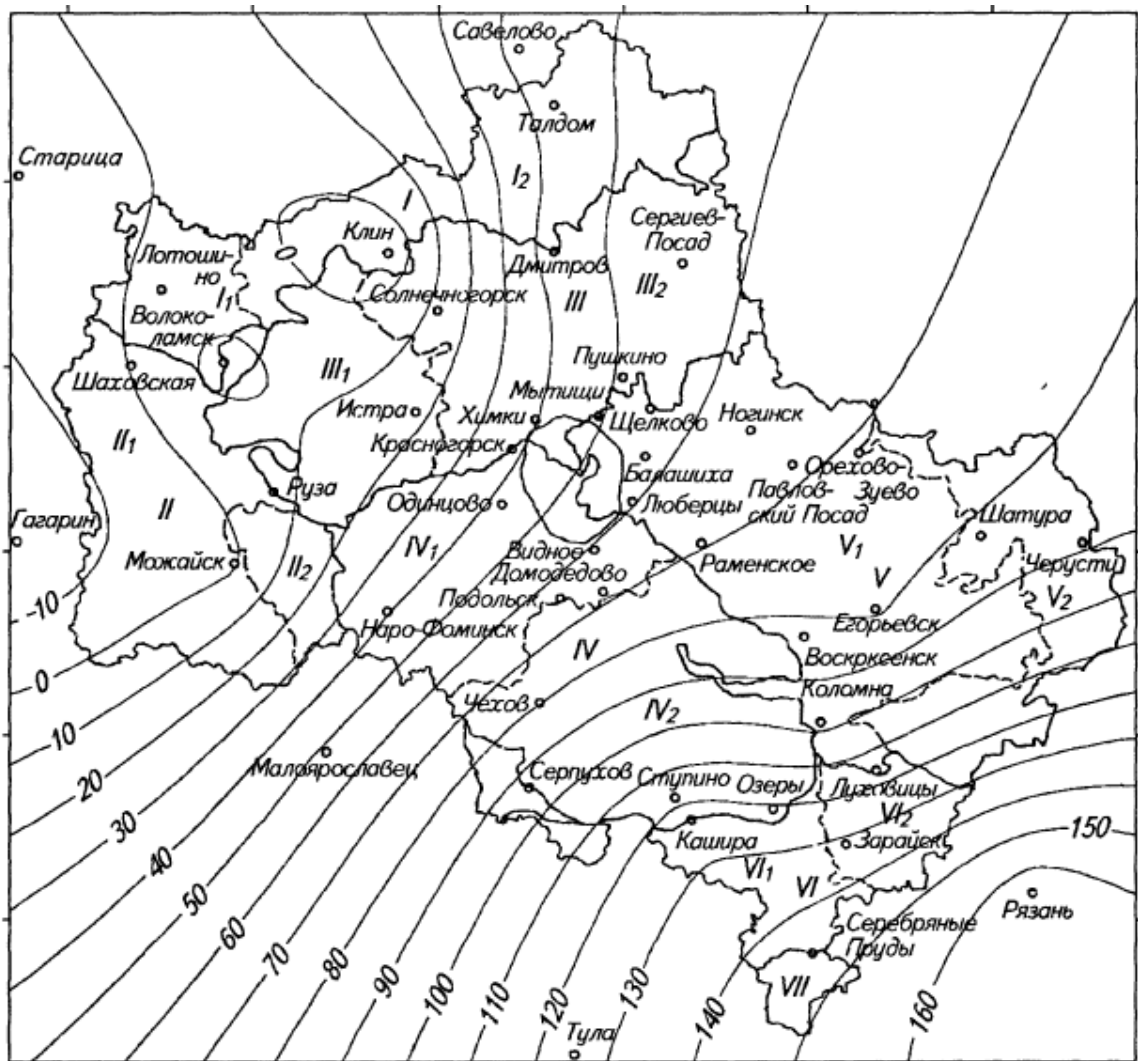


Рисунок 5.3 – Карта дефицита естественного увлажнения, мм, Московская область (Сухарев Ю.И.) [16]

В таблице 5.5 для подтверждения высказанного выше направления движения воздушных масс приводятся значения осадков и дефицита увлажнения для среднего и сухого по увлажнению годы. В сухие годы потребность в увлажнении торфа возрастает, так как осадки уменьшаются в среднем на 82 мм, а дефицит увлажнения увеличивается на 151 мм.

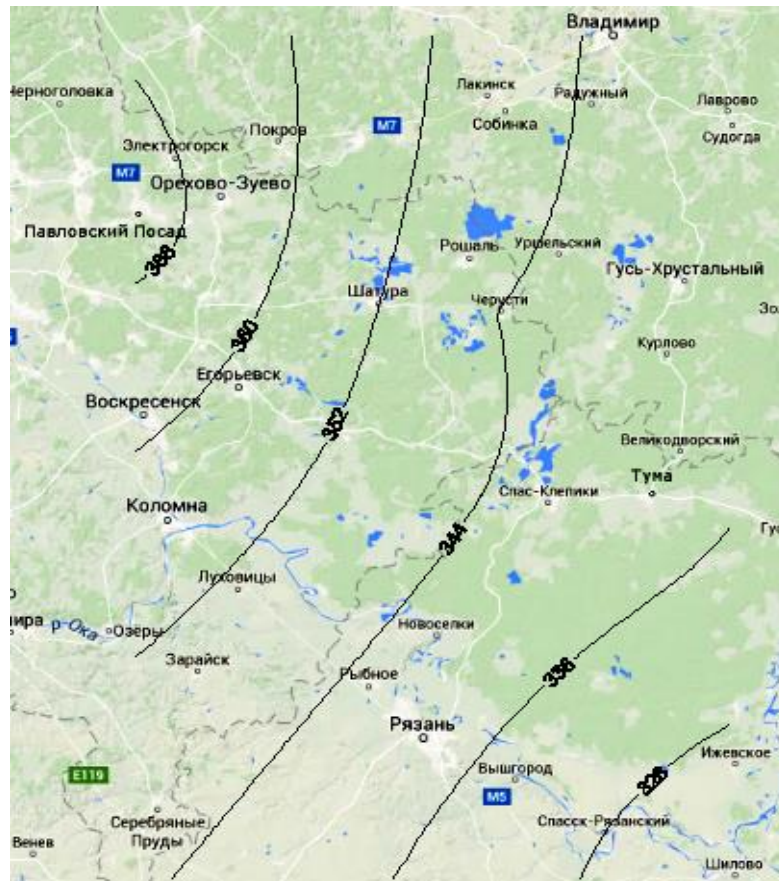


Рисунок 5.4 – Изолинии осадков теплого периода средние для 53 лет, мм

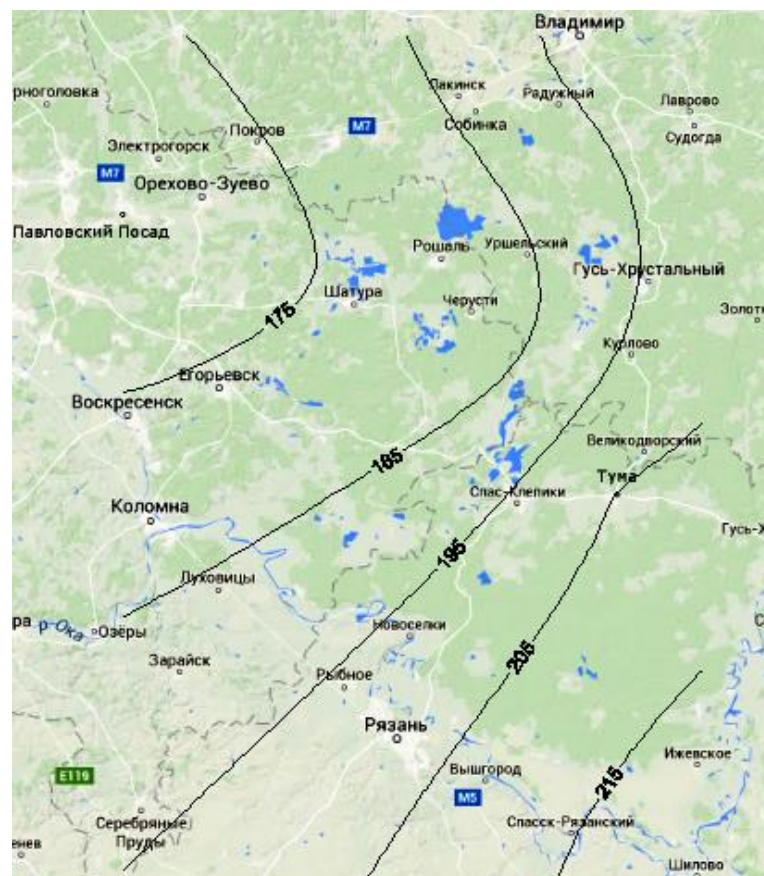




Рисунок 5.5 – Изолинии подачи воды для шлюзования до 0,8 м, средние для 53 лет, мм

Таблица 5.5 – Осадки и дефицит увлажнения теплого периода для сухого и среднего по увлажненности лет

В миллиметрах

Станции	Осадки 10%	Осадки 50%	Дефицит 10%	Дефицит 50%
Павловловский Посад	276	369	238	58
Черусти	268	330	218	116
Владимир	278	347	302	110
Тума	235	330	305	163
Шилово	219	311	324	182
<b>Среднее</b>	<b>255</b>	<b>337</b>	<b>277</b>	<b>126</b>

Практически важно оценить объемы воды необходимые для шлюзования. Водоподача показана в сравнении с суммарным стоком из систематических и ловчих дрен в разные годы (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Дренажный сток и подача воды для шлюзования по станциям в среднем за 53 года

Станции	Шлюзование с подъемом уровня воды в канале до 0,5 м			Шлюзование с подъемом уровня воды в канале до 0,8 м		
	сток с водосбора, мм	подача воды, мм	разность (2) – (3), мм	сток с водосбора, мм	подача воды, мм	разность (5) – (6), мм
1	2	3	4	5	6	7
Павловский Посад	518	304	214	408	169	239
Черусти	493	313	180	380	177	203
Владимир	478	335	143	366	199	167
Тума	473	343	130	360	206	154
Шилово	426	358	68	315	223	92
Среднее по станциям	478	331	147	366	195	171
Отношение подача/сток		0,69			0,53	

Как видно из таблицы 5.6 по всем пяти метеостанциям дренажный сток превышает потребность воды для шлюзования с подъемом уровня воды в канале до 0,5 м на 147 мм, а для шлюзования с подъемом уровня воды в канале до 0,8 м – на 171 мм. При шлюзовании до 0,8 м водоподача составляет около половины дренажного стока, то есть в целом дополнительного привлечения водных ресурсов не требуется при условии, что весь сток проходит через шлюзуемую территорию. Однако в экстремально сухие годы и жаркие

периоды лета может наступать нехватка воды для поддержания нужного уровня в каналах, и система может нуждаться в дополнительном пополнении. Необходим более детальный анализ соотношения стока – водоподачи и устранение дефицита путем создания регулирующих емкостей. Здесь может быть использован способ расчета регулирующего объема водохранилища (пруда-накопителя). Это имело место и на нашем экспериментальном участке. Объем этого пруда можно определить по известным формулам водохозяйственного расчета водохранилищ.

Для мелиоративных систем сельскохозяйственного назначения обычно расчетным принимается год 10% обеспеченности, то есть с повторяемостью 1 раз в 10 лет, но для жизни такого мегаполиса как Москва, надежность мероприятий по охране окружающей среды, по нашему мнению, должна быть выше и находиться около 1% (1 раз в 100 лет), в котором сток превышает подачу на 155 мм (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Дренажный сток и подача воды для шлюзования до 0,5 м по станциям в сухом году

В миллиметрах		
Станции	Сток суммарный 10%	Подача 10%
Павловский Посад	627	446
Черусти	599	407
Владимир	608	455
Тума	625	457
Шилово	571	488
<b>среднее</b>	<b>606</b>	<b>451</b>
<b>отношение</b>		<b>0,74</b>

Так же надо отметить, что размер водоподачи заметно уменьшается при уменьшении повторяемости года и увеличивается с северо-запада на юго-восток, следуя направлению хода циклонов и антициклонов (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Обеспеченность водоподачи при шлюзовании до 0,8 м  
В миллиметрах

Станции	Обеспеченность, %						
	1	10	25	50	75	90	99
Павловский Посад	410	297	218	144	96	78	55

Черусти	430	267	210	166	128	87	47
Владимир	522	311	249	168	131	101	60
Тума	438	313	288	196	123	91	38
Шилово	965	388	286	209	142	98	49

Так как в нашем распоряжении длина статистических рядов показателей режима шлюзования была существенной – 53 члена ряда, то была возможность достоверно оценить изменчивость этих показателей: анализировались коэффициенты вариации, то есть отношение среднего квадратичного отклонения к среднему. При «мягком» шлюзовании до 0,8 м изменчивость влажности 25 см слоя торфа была незначительной – 2%; глубины грунтовых вод несколько большей – 5%, слоя дренажного стока гораздо большей – 32% и подачи воды на шлюзования весьма значительной – 50%.

Таким образом, вскрыта возможность оптимизации режима шлюзования, как с позиций пожарной опасности, так и с учетом экономного расходования воды и улучшения продуктивности возделываемых культур. По сути дела, шлюзование выполняет задачи осушительно-оросительных систем, экологически оно безвредно, а при его реализации – выгодно.

Представляет интерес анализ посуточного графика изменения некоторых показателей шлюзования. На рисунке 5.6 показан график колебания влажности верхнего слоя торфа, суммарный (вместе с подачей) сток по систематическим дренам и по ловчей дрене за первые 15 лет прогноза из 53-х. Ось времени разделена на гидрологические годы, то есть с начала снеготаяния.

В этот период «удачно» попадают оба экстремальных года: самый сухой 1972 год и самый влажный 1962 год и несколько близких к среднему по дефициту увлажнения годы (таблицы 1.4 и 1.6). Кривая влажности показывает значительный прирост увлажнения торфа в период шлюзования. На ней также отражено весеннее увлажнение в начале каждого гидрологического года. Кривая дренажного стока с учетом водоподдачи в дрены имеет сложное очертание. Она показана в интегральной форме как накопительная, знакопе-

ременная. Сток по ловчей дрене сравнительно устойчив. Сток показан в метрах слоя воды.

По данным моделирования 53-летнего ряда на рисунках 5.7 и 5.8 показаны многолетняя и внутригодовая динамика влажности поверхностного слоя торфа для выявления экстремальных её значений в условиях местности вблизи станции Черусти. Рассмотрены два случая: стандартное осушение и «мягкое» шлюзование до уровня воды в каналах глубиной 0,8 м от поверхности земли.

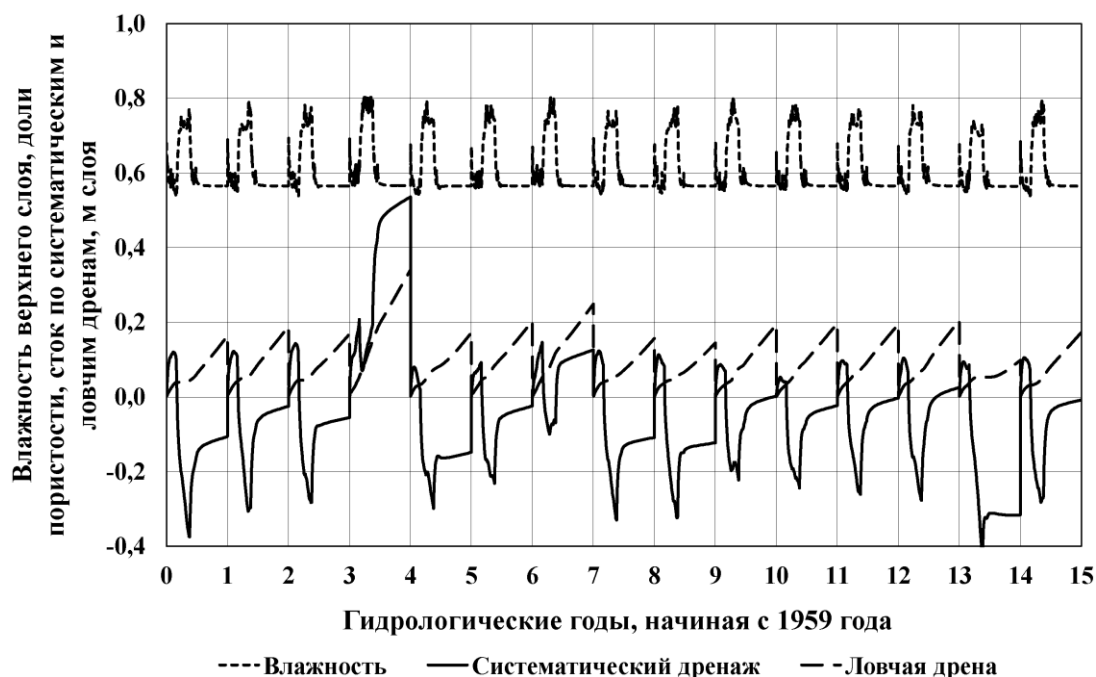


Рисунок 5.6 – Посуточный график влажности стока по систематическим и ловчим дренажам в течение 15 лет прогноза по станции Тума. Вариант шлюзование до 0,5 м

На рисунке 5.7 четко выделяются пожароопасные критические периоды в 1961, 1972, 1975, 1979, 1981, 1988, 1999, 2002, 2010 годах, если не проводить противопожарные мероприятия, а «мягкое» шлюзование делает график влажности более однородным и, что очень важно, существенно увеличивает влажность торфяника и повышает пожарную безопасность. Отмеченные критические годы коррелируют с пожароопасными годами, отмеченными в очерке пожаров в центральных районах РФ (глава 2).

На рисунке 5.8 показана та же динамика влажности во внутригодовом разрезе для экстремально сухого, с повторяемостью 1 раз в 50 лет, 1972 года. Более детальный график (рисунок 5.8) показывает наличие пожароопасной ситуации в отдельные, довольно продолжительные, порядка двух недель, засушливые периоды года, когда вероятность возгорания торфа возрастает при отсутствии противопожарных мероприятий.

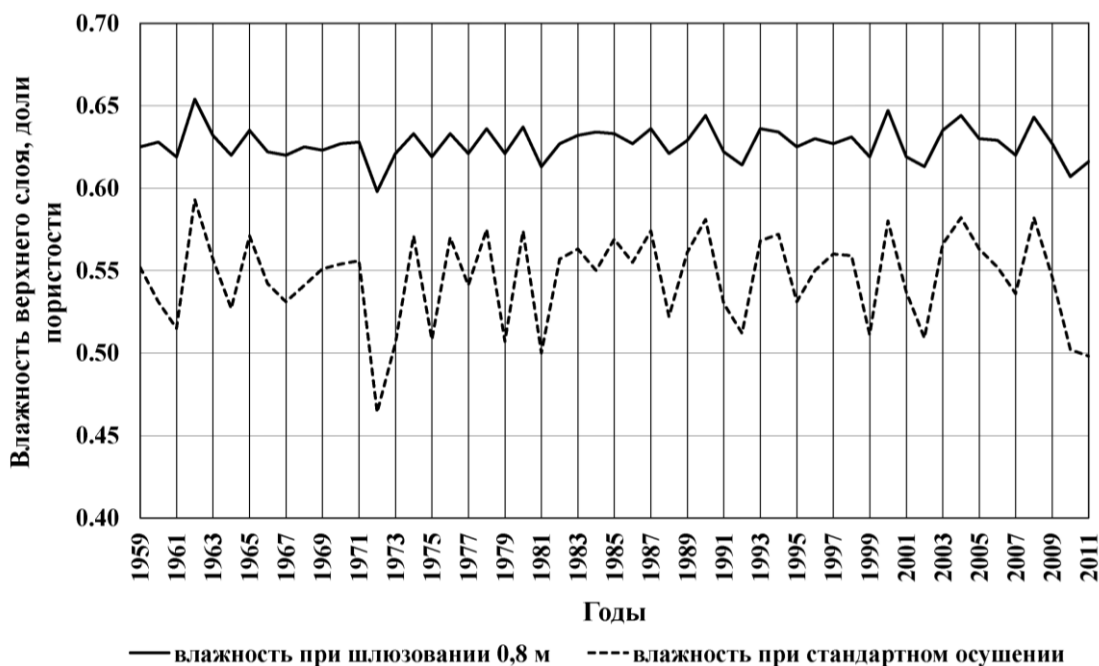


Рисунок 5.7 – Многолетняя динамика средней за период шлюзования поверхностной влажности при стандартном осушении и шлюзовании до 0,8 м (станция Черусти)

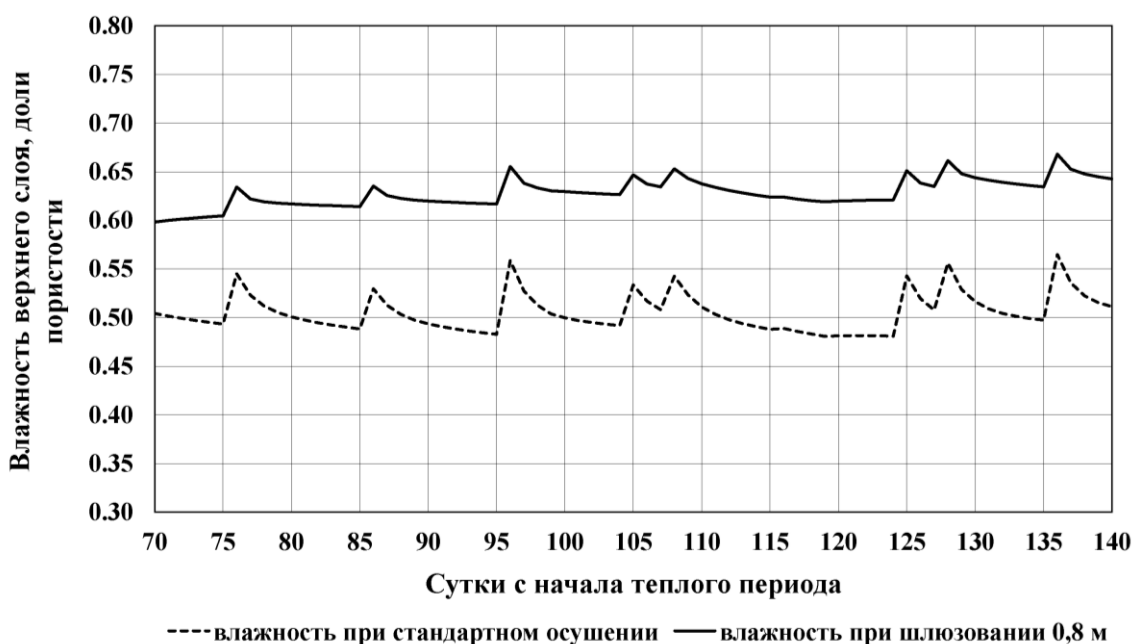


Рисунок 5.8 – Внутригодовая динамика влажности в экстремально сухом 1972 году в период шлюзования при разных вариантах (станция Черусты)

Последние рисунки говорят о существенно большей информативности примененного в нашей работе способа расчета процессов шлюзования по сравнению с существующими.

### 5.1 Выводы по главе 5

1. С помощью модернизированной математической модели А.И. Голованова и Ю.И. Сухарева выполнен расчет показателей режима шлюзования осушенных болот в Мещерской низменности. Длительность периода расчетов – 53 года. Рассмотрены несколько вариантов расчета: без шлюзования, шлюзование с подъемом уровня воды в каналах или напором в дренах ниже поверхности земли на 0,8 м, аналогичное – ниже на 0,5 м для пяти действующих метеостанций.

Результаты расчетов визуализированы путем построения карт изменения показателей шлюзования для Мещерской низменности.

2. Необходима оптимизация показателей шлюзования, так как при значительном подъеме уровня грунтовых вод корневая система подтапливается и растения снижают свою продуктивность, но высокая влажность верхнего слоя торфа препятствует его возгоранию. Высказаны соображения о преимуществе травопольного содержания осушенных торфяников с целью их сохранения как ценных природных объектов и земельных угодий.

3. Для климатических условий Мещерской низменности «мягкое» шлюзование с подъёмом уровня воды в каналах до 0,8 м от поверхности земли оказалось достаточным в противопожарном отношении, влажность верхнего слоя почвы не опускается ниже 0,62...0,63 доли пористости. При этом также устраняется типичная для Мещеры переосушка торфяника и подрастает продуктивность посевов.

4. Оценены объемы дренажного стока и подачи воды в осушительную сеть при разных вариантах шлюзования осушительной сети для лет с разным

дефицитом природного увлажнения территории. Дренажный сток в сумме превышает требуемую водоподачу, но внутри летнего периода шлюзования может наступать нехватка воды для поддержания нужного уровня в каналах и система может нуждаться в дополнительном пополнении. В этом случае возникает необходимость в сезонном регулировании стока в виде пруда-регулятора. Результаты прогноза позволяют рассчитать объем пруда-накопителя в случае временного недостатка воды в острозасушливые периоды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Мещерская низменность – это лесная низкая заболоченная равнина, сформировавшаяся в междуречье средних течений Оки и Клязьмы. Она располагает большими заторфованными массивами, часть которых выработана на топливо, но не рекультивирована. На значительной территории торфяники осушены и используются как ценные сельскохозяйственные угодья. Осушение ведется недостаточно продумано, в засушливые периоды года торфяник избыточно осушен.

2. Климат Мещерской низменности – умеренно-континентальный с холодной зимой и умеренно тёплым, а иногда и жарким летом. На погоду Мещёры влияют локальные циклонические процессы, которые двигаются с северо-запада на юго-восток и наоборот. Они формируют в течение лета жаркие сухие и теплые влажные периоды. Амплитуда колебаний дефицитов увлажнения теплого периода за 53 года значительна и достигает 673...827 мм при среднемноголетней сумме атмосферных осадков за теплый период в пределах 321...372 мм.

3. На территории Мещерской низменности кафедрой ландшафтоведения МГУ имени М.В. Ломоносова выявлено 25 ландшафтных района и 59 индивидуальных ландшафтов со средней площадью около 450 км<sup>2</sup>, и дано их краткое описание, использованное нами при корректировке математической модели «Шлюзование».

4. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о том, что пожары на торфяниках очень опасны, особенно в жаркий период лета на осушенных выработанных торфяниках, которые могут возгораться в результате деятельности человека, а также самовозгораться.

5. Решение проблемы пожарной безопасности должно быть комплексным, то есть надо строить осушительно-увлажнительные системы, создающие двухстороннее регулирование уровня грунтовых вод с помощью



шлюзов-регуляторов, обеспечивая тем самым противопожарную влажность торфяной залежи на уровне более 50 % полной влагоемкости.

6. Для обеспечения противопожарной безопасности необходимо использовать травопольную систему земледелия, которая предохраняет торф от распыления и водной эрозии, тем самым уменьшает риск его иссушения и возникновения пожаров, вместо пропашной системы. Особую заботу нужно оказывать грунтовым дорогам на торфяниках, сильно иссушаемых в жаркую сухую погоду, создавая противопожарную минеральную подушку.

7. При обосновании параметров водооборотных систем, выполняющих экономические и экологические (противопожарные) функции продуктивным является геосистемный (ландшафтный) подход. С помощью цепочки сопряженных разновысоких фаций (катен) можно строить водосборы различных размеров. Также существенным является термодинамический подход, при котором появляется возможность детально описать передвижение почвенной влаги при неполном насыщении в разные по засушливости годы, учитывать отбор влаги конями растений, шлюзование и другие важные факторы. На основании этих подходов была усовершенствована двумерная модель влагопереноса «Шлюзование», которая позволяет количественно все-сторонне охарактеризовать основные статьи водного баланса, глубины грунтовых вод, влажность торфяника, получить данные для водохозяйственных и экономических расчетов эффективности шлюзования, а также описывать действие различных гидротехнических мероприятий, в том числе и противопожарное шлюзование.

8. В результате двухлетних полевых экспериментов на стационаре кафедры мелиорации и рекультивации земель в деревне Селково Сергиево-Посадского района Московской области изучены процессы шлюзования осушенного торфяника в противопожарных целях. В частности, установлены:

– суточные величины инфильтрационного питания грунтовых вод, то есть разность между осадками и испаряемостью с водной поверхности, кото-

рые хорошо аппроксимируются формулой Н.Н. Иванова с усреднением температуры и влажности воздуха за декадный период;

– сильная изменчивость в течение теплого периода водообеспеченности территории вследствие малоподвижности циклонов и антициклонов с образованием продолжительных влажных и сухих периодов, непосредственным образом влияющих на эффективность шлюзования;

– применительно к условиям экспериментального участка оказалось, что подъем уровня воды в канале до глубины 0,40 м от бровки обеспечивает влажность верхнего слоя торфяника в сухой период около 0,59 доли пористости, то есть противопожарно безопасную.

9. Экспериментально проверена возможность использования двумерной модели влагопереноса «Шлюзование» для оценки эффективности противопожарного шлюзования путем сравнения рассчитанных и экспериментально определенных глубин грунтовых вод, а также влажности верхнего слоя торфяника, которую невозможно определить другими известными способами, различия оказались несущественными.

10. Предложено понятие «режим шлюзование», то есть совокупность требований к обеспечению противопожарной безопасности: степень подъема уровней воды в каналах или напоров в дренах, сроки шлюзования, объемы водоподачи, комплексная оценка его эффективности в увязке с продуктивностью возделываемых сельскохозяйственных культур.

11. С помощью указанной модели выполнен расчет показателей режима шлюзования осушенных болот на территории Мещерской низменности. Длительность периода расчетов – 53 года. Рассмотрены несколько вариантов расчета: без шлюзования, шлюзование с подъемом уровня воды в каналах или напоров в дренах ниже поверхности земли на 0,8 м, аналогичное – ниже на 0,5 м для пяти действующих метеостанций. Результаты расчетов визуализированы путем построения карт изменения показателей шлюзования для Мещерской низменности.

12. Для климатических условий Мещерской низменности «мягкое» шлюзование с подъёмом уровня воды в каналах до 0,8 м от поверхности земли оказалось достаточным в противопожарном отношении, обеспечивается достаточная влажность верхнего слоя почвы около 0,62...0,63 доли пористости. При этом также устраняется типичная для Мещёры переосушка торфяника и подрастает продуктивность посевов.

13. Дренажный сток в сумме превышает требуемую водоподачу, но внутри периода шлюзования в отдельные годы может наступать нехватка воды для поддержания нужного уровня в каналах, и система может нуждаться в дополнительном пополнении. В этом случае возникает необходимость в сезонном регулировании стока в виде пруда-регулятора. Результаты наших расчетов позволяют рассчитать объем пруда-накопителя в случае временного недостатка воды в острозасушливые периоды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов, А. И. О борьбе с пожарами на осушенных торфяниках / А. И. Голованов, К. С. Семенова // Доклады ТСХА: Сборник статей, Москва, 06–08 декабря 2018 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. – С. 256-259. – EDN ZTAУNB.
2. Семенова, К. С. Обоснование противопожарного шлюзования осушенных торфяников в условиях Мещерской низменности: специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семенова Кристина Сергеевна. – Москва, 2016. – 130 с. – EDN MХDHJN.
3. Семенова, К. С. Обоснование противопожарного шлюзования осушенных торфяников в условиях Мещерской низменности: специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семенова Кристина Сергеевна. – Москва, 2016. – 22 с. – EDN ZQGHQT.
4. Аверьянов, С.Ф. Управление водным режимом мелиорируемых сельскохозяйственных земель / С.Ф. Аверьянов – М.: РГАУ- МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. – 540 с.
5. Аверьянов, С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. Т.1. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод [Текст] / С.Ф. Аверьянов. – М.: АН СССР, 1956. – с. 85 – 441.
6. Арцыбашев, Е.С. Проблемы пожаров на оторфованных лесных землях / Е.С. Арцыбашев // Лесное хозяйство. – 2006. – №5. – С. 38 – 50.
7. Ахметьева, Н.П. Влажность торфа и возникновение пожаров на болотах / Н.П. Ахметьева, Е.Е. Лапина, В. В. Кудряшова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – №3 – С. 26 – 29.

8. Берсенева, А. Этот торф не затушишь, не зальешь [Электронный ресурс] / А. Берсенева – Электронная газета. – М.: ЗАО «Газета.Ру», 2010. – Режим доступа: [http://www.gazeta.ru/realty/2010/07/29\\_a\\_3402667.shtml](http://www.gazeta.ru/realty/2010/07/29_a_3402667.shtml).
9. Брудастов, А.Д. Осушение минеральных и болотных земель / А.Д. Брудастов. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 444 с.
10. Будаговский, А.И. Испарение почвенной влаги / А.И. Будаговский. – М.: Наука, 1964. – 244 с.
11. Волков, А.М. Обеспечение пожарной безопасности предприятий / А.М. Волков // О мерах по совершенствованию борьбы с лесными и торфяными пожарами: матер. науч. - практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 58 – 61.
12. Воробьев, Ю.Л. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
13. География, общество, окружающая среда. В 7 т. Т. 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов / под ред. К.Н. Дьяконова, Э.П. Романовой. – М.: Горещ, 2004. — 606 с.
14. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
15. Голованов, А. И. Режим противопожарного шлюзования осушенных торфяников (на примере Мещерской низменности) / А.И. Голованов, К.С. Семенова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – №5. – С. 20 – 25.
16. Голованов, А.И. Ландшафтоведение: учебник для студентов вузов / А.И. Голованов, Е.С. Кожанов, Ю.И. Сухарев; под ред. А.И. Голованова. – СПб.: Лань, 2015. – 224 с.
17. Голованов, А.И. Математическая модель влагопереноса в ландшафтных катенах: сбор. науч. трудов МГУП / А.И. Голованов, Ю.И. Сухарев // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России. – М.: МГУП, 2005. – Ч. 2. – С. 12 – 21.

18. Голованов, А.И. Математическая модель переноса влаги и солей в почвогрунтах на орошаемых землях / А.И. Голованов, О.С. Новиков // Труды МГМИ. – М., 1974. – Т.36. – С. 87 – 95.
19. Голованов, А.И. Мелиоративный режим и пути его улучшения. [Текст] / И.П. Айдаров, А.И. Голованов // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 8. – С. 16 – 19.
20. Голованов, А.И. Методология мелиорации / А.И. Голованов // Природообустройство. – 2009. – №4. – С. 5–16.
21. Голованов, А.И. Обоснование противопожарного шлюзования в Мещерской низменности / А.И. Голованов, К.С. Студенова // Природообустройство. – 2012. – №5. – С.11 – 17.
22. Голованов, А.И. Оценка воздействия осушения на окружающую среду (ОВОС): учебное пособие / А.И. Голованов, Ю.И. Сухарев, В.В. Шабанов. – М.: МГУП, 2009. – 46 с.
23. Голованов, А.И. Рекультивация нарушенных земель: учебник для студ. вузов / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, В.И. Сметанин; под ред. А.И. Голованова. – СПб.: Лань, 2015. – 336 с.
24. Данилов-Данильян, В. И. Причины и уроки торфяных и лесных пожаров 2010 года / В. И. Данилов-Данильян // Экология и жизнь. – 2010. – № 10 – С. 20–27.
25. Дуваниди, Е. Высокие торфяные технологии [Текст] / Е. Дуваниди // Аргументы Недели. – 2010. – № 30 (220) – С.12 – 20.
26. Евграфов, А.В. Водный режим земель и его взаимосвязь с торфяными пожарами: монография / А. В. Евграфов. – М.: РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2009. – 163 с.
27. Жезмер, В.Б. Оценка возможности устройства систем двойного регулирования влажностного режима пожароопасных выработанных торфяников на базе осушительной сети / В.Б. Жезмер, М. А. Волынов, Е.Э. Головинов, С.В. Перегудов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – №1. – С. 30 – 32.

28. Жуков, И.В. Технические средства и технология повышения экологической безопасности торфяно-болотных экосистем: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 25.00.36 / Жуков Игорь Викторович. – СПб., 2009. – 22 с.
29. Зайдельман, Ф.Р. Защита торфяных почв от деградации уничтожения при пожарах / Ф.Р. Зайдельман // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – №1. – С. 36 – 39.
30. Зайдельман, Ф.Р. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв / Ф.Р. Зайдельман, А.П. Шваровле. – М.: МГУ, 2001. – 166 с.
31. Зайдельман, Ф.Р. Проблемы, последствия и защита осушаемых торфяных почв от пожаров / Ф.Р. Зайдельман // Инновационные технологии в мелиорации: материалы международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). – М.: ВНИИА, 2011. – С.13 – 21.
32. Козлов, А. А. Совершенствование организации использования мелиорированных земель Мещерской низменности: автореф. дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.05 / Козлов Александр Алексеевич. – М., 1979. – 24 с.
33. Константинов, А.Р. Испарение в природе / А.Р. Константинов. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 532 с.
34. Ландшафты Московской области и их современное состояние / Г.Н. Анненская, В.К. Жучкова, В.Р. Калинина и [др.]; под ред. И.И. Мамай. – Смоленск: СГУ, 1997. – 296 с.
35. Лосев, А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства / А.П. Лосев. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994. – 244с.
36. Максименко, В.П. Противопожарные гидротехнические системы – превентивные мероприятия на века / В.П. Максименко, В.А. Павлущенко // Природообустройство. – 2013. – №3. – С. 24 – 28.
37. Маслов, Б.С. Мелиоративная энциклопедия: в 3 т. / Б.С. Маслов; под ред. А.В. Колганова. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2004. – 440 с. – 3 т.
38. Мелиоративное земледелие: учебник и учебное пособие для студентов вузов / А.И. Голованов, А.Г. Балан, В.Е. Ермакова, И.Т. Ефимов; под ред. А.И. Голованова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 328 с.

39. Мелиорация земель: учебник для студентов вузов / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров [и др.]; под ред. А.И. Голованова. – СПб.: Лань, 2015. – 816 с.
40. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: справочник / под ред. Б.С. Маслова. – М.: Ассоциация Экост, 2001. – 606 с.
41. Мелиорация и водное хозяйство. Т.6. Орошение: справочник / под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 415 с.
42. Овчаров, Е.Е. Гидрология и гидрометрия / Е.Е. Овчаров, Н.Н. Захаровская. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 312 с.
43. Плюснин, И.И. Мелиоративное почвоведение: учебник для студентов вузов / И.И. Плюснин, А.И. Голованов; под ред. А.И. Голованова. – М.: Колос, 1983. – 318 с.
44. Попов А. С. Мещёрский край. – М.: Физкультура и спорт, 1970. – 112 с.
45. Природообустройство: учебник для студентов вузов / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин, Д.В. Козлов [и др.]; под ред. А.И. Голованова. – СПб.: Лань, 2015. – 560 с.
46. Пыленок, П.И. Изменение водного режима почв и водоохранные мероприятия в зоне влияния осушительных систем: дис. ... канд. тех. наук: 06.01.02 / Пыленок Петр Иванович. – М., 1985. – 224 с.
47. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
48. Ромнов, В.В. Ландшафты Владимирской области. Ландшафты Мещерской провинции: учебное пособие / В.В. Ромнов. – Владимир: ВлГУ, 2013. – 136 с.
49. Рябкова, Г.А. Осушительные мелиорации: учебное пособие для студентов вузов / Г.А. Рябкова. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2009. – 205 с.
50. Самарский, А.А. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 489 с.



51. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации: учебное пособие для студентов вузов / А.А. Богушевский, А.И. Голованов, В.А. Кутергин [и др.]; под ред. Е.С. Маркова. – М.: Колос, 1981.– 375 с.
52. Семенова, К.С. Экспериментальные исследования эффективности противопожарного шлюзования / И.С. Семенова // Природообустройство.– 2015. – №3. – С. 35 – 40.
53. Соловьев, С.В. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.03 / Соловьев Сергей Владимирович. – М., 2006. – 222 с.
54. Состояние окружающей среды Московской области в 1997 году: государственный доклад / под ред. Р.Ф. Чижа. – М.: Мособлкомприрода, 1998. – 208 с.
55. Справочник по торфу / под ред. А.В. Лазарева, С.С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
56. Стариков, Х.Н. Приемы первичной обработки осушенных низинных болот Мещерской низменности: автореф. дис. ... канд. сельск. наук / Х. Н. Стариков. – М., 1963. – 25 с.
57. Стариков, Х. Н. Увлажнение осушаемых торфяников / Христофор Николаевич Стариков. – М.: Колос, 1977. – 295 с.
58. Технический анализ торфа / Е.Т. Базина, В.Д. Копенкин, В.И. Косов [и др.]; под ред. Е.Т. Базина. – М.: Недра, 1992. – 431 с.
59. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпози- ты: монография / Л.Б. Хорошавин, О.А. Медведев, В.А. Беляков [и др.]. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – 256 с.
60. Удилов, В.П. Кинетические характеристики процессов самовозго- рания торфов Сибири и их использование при прогнозе и профилактике по- жаров: дис. ... канд. тех. наук: 05.26.01 / Удилов Василий Петрович. – М., 1986. – 190 с.

61. Фалюшин, П.Л. Проверка способа прогнозирования склонности торфа к самовозгоранию / П.Л. Фалюшин, А.В. Ребров, А.И. Куприянов // Торфяная промышленность. – 1986. – № 3. – С. 20 – 23.
62. Чеботарев, А.И. Гидрологический словарь / А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
63. Шабанов, В.В. Биоклиматическое обоснование мелиораций / В.В. Шабанов. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 165с.
64. Шмаков, В.И. Обоснование режима орошения многолетних трав при регулировании водного и питательного режимов осушаемых торфяных почв (на примере поймы реки Дубны): дис. ... канд. тех. наук: 06.01.02 / Шмаков Виктор Иванович. – М., 1990. – 198с.
65. Aim, J. Winter CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes on some natural and drained boreal peatlands / J. Aim, S. Saarnio, H. Nykanen, J. Silvola, P.J. Martikainen // Biogeochemistry. – 1999. – №44. – P. 163 – 186.
66. Beer, J. Geochemical controls on anaerobic organic matter decomposition in a northern peatland / J. Beer, K. Lee, M. Whitticar, C. Blodau // Limnology and oceanography. – 2008. – № 53 (4). – P. 1393 – 1407.
67. Головинов, Е. Э. Мониторинг водопроводящих сооружений мелиоративных систем методом дистанционного зондирования / Е. Э. Головинов, С. А. Киселев, К. С. Семенова // Основные результаты научных исследований института за 2017 год: Сборник научных трудов. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2018. – С. 94-102. – EDN XTZOBV.
68. Каблуков, О. В. Формирование функциональных блоков гидро-мелиоративных систем высокого ранга организованности / О. В. Каблуков, К. С. Семенова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 5. – С. 18-24. – DOI 10.32962/0235-2524-2021-5-18-24. – EDN JQNVLO.
69. Калиниченко, Р. В. Водопонижение и водоотлив как способ предварительного осушения территории парка академика Сахарова г. Санкт-Петербурга / Р. В. Калиниченко, К. С. Семенова, О. В. Каблуков // Природо-

обустройство. – 2022. – № 5. – С. 36-44. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-5-36-44. – EDN YQYSMC.

70. Применение цифровой маркировки для обеспечения качества пищевой продукции / Э. И. Черкасова, П. В. Голиницкий, К. С. Семенова, У. Ю. Антонова // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 20–22 апреля 2021 года. Том 1 Часть 2. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – С. 356-358. – EDN TPOGIZ.

71. Пчелкин, В. В. Основы научной деятельности / В. В. Пчелкин, Т. И. Сурикова, К. С. Семенова. – Москва : ООО "Издательство "Спутник+", 2018. – 173 с. – ISBN 978-5-9973-4821-2. – EDN XVVDZZ.

72. Семенова К.С. Экспериментальные исследования эффективности противопожарного шлюзования / К.С. Семенова // Научно-практический журнал «Приодообустройство». 2015. № 3. С. 35–40.

73. Семенова, К. С. Дистанционное зондирование как метод мониторинга сельскохозяйственных земель / К. С. Семенова, О. В. Каблуков, О. М. Кузина // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 20–22 апреля 2021 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – С. 453-455. – EDN IJSJLQ.

74. Семенова, К. С. Методика мониторинга двустороннего регулирования влажности почвы при эксплуатации инженерных мелиоративных систем / К. С. Семенова, О. В. Каблуков // Приодообустройство. – 2021. – № 4. – С. 23-30. – DOI 10.26897/1997-6011-2021-4-23-30. – EDN МКАТТМ.

75. Семенова, К. С. Мероприятия по оценке осушенного выработанного торфяника как потенциально пожароопасного объекта / К. С. Семенова, Р. Рифат // Современные проблемы и прогрессивные направления развития науки : Сборник статей международной научной конференции, Омск, 24 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный нацио-

нальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2023. – С. 48-50. – EDN RGITUH.

76. Семенова, К. С. Обоснование использования вегетационного индекса NDVI как основного показателя мониторинга состояния сельскохозяйственных земель / К. С. Семенова // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова : сборник статей, Москва, 06–08 июня 2022 года. Том 1. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 44-48. – EDN LVYFKH.

77. Семенова, К. С. Обоснование использования спутниковых снимков Landsat для мониторинга мелиорируемых земель / К. С. Семенова, С. А. Киселев // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина, Москва, 06–07 июня 2018 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. – С. 689-692. – EDN XYFVZR.

78. Семенова, К. С. Обоснование объема противопожарной водоподачи при шлюзовании торфяников / К. С. Семенова // Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 84-90. – EDN VVWIYD.

79. Семенова, К. С. Обоснование использования дождевальнoй машины Valley в условиях центральной зоны Ростовской области и для выращивания кукурузы / К. С. Семенова // Инновационные направления научных исследований в земледелии и животноводстве как основа развития сельскохозяйственного производства : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской Школы молодых учёных, Белгород, 24–25 июня 2021 года. – Белгород: ООО «КОНСТАНТА»; ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН, 2021. – С. 77-81. – EDN JUCZHS.

80. Семенова, К. С. Оценка формулы определения испаряемости для создания осушительно-увлажнительных земель на осушенных торфяниках

Мещерской низменности / К. С. Семенова // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 23-28. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-23-29. – EDN CKBOZX.

81. Пчелкин, В. В. Основы научной деятельности / В. В. Пчелкин, Т. И. Сурикова, К. С. Семенова. – Москва : ООО "Издательство "Спутник+", 2018. – 173 с. – ISBN 978-5-9973-4821-2. – EDN XVVDZZ.

82. Пчелкин, В. В. Основы научных исследований: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 35.03.11 - Гидромелиорация (профиль «Проектирование и строительство гидромелиоративных систем») / В. В. Пчелкин, К. С. Семенова. – Москва : Знание-М, 2023. – 221 с. – ISBN 978-5-00187-434-8. – EDN SFSUJK.

83. Семенова, К. С. Оценка биопрепаратов как способа доочистки почв и грунтов, загрязненных нефтепродуктами / К. С. Семенова, В. А. Иванова, Ю. А. Попенова // Вклад молодых ученых в реализацию приоритетных направлений развития аграрной науки : материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых, Ижевск, 17–19 ноября 2021 года. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 50-55. – EDN IPIEGD.

84. Голованов, А. И. Режим противопожарного шлюзования осушенных торфяников (на примере Мещерской низменности) / А. И. Голованов, К. С. Семенова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 5. – С. 20-25. – EDN TXZTXG.

85. Семенова, К. С. Рекультивация выработанных торфяников / К. С. Семенова, Т. В. Кубышкина, О. М. Кузина. – Москва : ООО "Издательство "Спутник+", 2022. – 106 с. – ISBN 978-5-9973-6427-4. – EDN OJVWSI.

86. Учебная практика "Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)": учебное пособие по направлению 20.03.02 – Природообустройство и водопользование / В. В. Пчелкин, И. В. Корнеев, О. М. Кузина [и др.]. – Москва : Спутник +, 2021. – 102 с. – ISBN 978-5-9973-5901-0. – EDN EFMDJN.

87. Семенова, К. С. Шлюзование каналов как способ борьбы с самовозгоранием на осушенных торфяниках Московской области / К. С. Семенова // Теория и практика современной аграрной науки : Сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием, Новосибирск, 28 февраля 2020 года. Том 1. – Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2020. – С. 563-566. – EDN ODVICN.

88. Семенова, К. С. Экспериментальные исследования эффективности противопожарного шлюзования / К. С. Семенова // Природообустройство. – 2015. – № 3. – С. 35-40. – EDN UFEYBZ.

89. Semenova, K. Improvement of water regulation on drainage- humidification systems / K. Semenova, M. Kagak, K. Khrustaleva // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. September 15, 2021. Beijing, PRC, Beijing, PRC, 15 сентября 2021 года. – Beijing, PRC: AUS PUBLISHERS, 2021. – P. 260-266. – DOI 10.34660/INF.2021.62.39.037. – EDN LOSPQW.

90. Semenova, K. S. Methodology for monitoring soil moisture in systems of double-acting irrigation / K. S. Semenova, O. V. Kablukov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. – Krasnoyarsk, 2022. – P. 022021. – DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022021. – EDN RUQEWN.

91. Optimization Of The Irrigation Of Agricultural Crops Regime On Sod-Podzolic Soils Of Watershed Areas Of The Non-Chernozem Zone Of The Russian Federation / V. V. Pchelkin, Yu. I. Sukharev, A. Kasianov [et al.] // Natural Volatiles and Essential Oils. – 2021. – Vol. 8, No. 4. – P. 11068-11087. – EDN VHFFRX.

92. Organization of the wheat flour quality traceability / E. Cherkasova, P. Golinitzky, U. Antonova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 16–19 июня 2021 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol.

Volume 839. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 32027. – DOI 10.1088/1755-1315/839/3/032027. – EDN MHTIY.

93. Улучшение работы глубинного водосброса Курпсайской ГЭС / И. С. Румянцев, В. А. Зимнюков, М. И. Зборовская, Г. В. Кавжарадзе // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 33-38. – EDN PEXITZ.

94. Зборовская, М. И. Анализ работы ячеистых конструкций гидросооружений на статические и температурные воздействия : специальность 05.23.07 "Гидротехническое строительство" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зборовская Марина Ильинична. – Москва, 1995. – 22 с. – EDN ZIRDYR.

95. Али, М. С. Особенности расчета переходных процессов в водоводах насосных станций в условиях образования разрывов сплошности потока / М. С. Али, Д. С. Бегляров, Э. Е. Назаркин // Природообустройство. – 2020. – № 4. – С. 122-128. – DOI 10.26897/1997-6011/2020-4-122-128. – EDN ZVTGEU.

96. Особенности работы насосных станций на закрытых оросительных системах / Д. С. Бегляров, Ю. И. Сухарев, М. С. Али, Э. Е. Назаркин // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16, № 5(117). – С. 538-553. – DOI 10.35679/1991-9476-2021-16-5-538-553. – EDN PJSCDL

.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ .....	7
1.1 Географическое положение .....	7
1.2 Климат .....	7
1.3 Оценка природной влагообеспеченности территории Мещерской низменности.....	11
1.4 Влияние осушения торфяников на водный режим.....	25
1.5 Растительный мир .....	32
1.6 Ландшафтный очерк Мещерской низменности.....	33
1.7 Выводы по главе 1 .....	45
ГЛАВА 2 ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТОРФЯННИКАХ. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПОЖАРАМИ .....	47
2.1 Причины и опасности торфяных пожаров. Процесс самовозгорания.....	47
2.2 Способы и техника увлажнения осушаемых земель.....	52
2.3 Выводы по главе 2 .....	55
ГЛАВА 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШЛЮЗОВАНИЯ ОСУШЕННОГО ТОРФЯНИКА (МОДЕЛЬ «ШЛЮЗОВАНИЕ») .....	57
3.1 Выводы к главе 3.....	72
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛЮЗОВАНИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ. ....	73
4.1 Описание экспериментального участка.....	73
4.2 Характеристика местных погодных условий в период экспериментов .....	75
4.3 Почвы опытного участка.....	80
4.4 Исследование шлюзования осушительных каналов .....	81
4.5 Исследование влияния шлюзования на поверхностную влажность торфа.....	85



4.6 Выводы по главе 4 .....	88
ГЛАВА 5. РЕЖИМ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ШЛЮЗОВАНИЯ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ.....	89
5.1 Выводы по главе 5 .....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	112
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	123

Семенова К.С.

**ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ШЛЮЗОВАНИЕ  
ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ  
В УСЛОВИЯХ МЕЩЕРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ**

Монография

ISBN 978-5-00207-312-2



Подписано в печать 13.07.2023.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 7,21. Тираж 100 экз. Заказ № 2958-23.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами  
в ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

Тел.: 8-800-700-86-33 | (845-2) 24-86-33

E-mail: [zakaz@amirit.ru](mailto:zakaz@amirit.ru)

Сайт: [amirit.ru](http://amirit.ru)