

НИЙОНЗИМА Нестор

Обоснование необходимости орошения и осушения земель бассейна реки Русизи в республике Бурунди .

**Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Шабанов
Виталий Владимирович**

**Специальность 06.01.02 – Мелиорация,
рекультивация и охрана земель**

Основные характеристики работы

Цель исследования:

Разработка методики обоснования необходимости и эффективности проведения водных мелиораций в различные периоды года, в целях получения устойчивых урожаев для решения продовольственной проблемы в республике Бурунди.

Предмет исследований

Оценка применимости программной системы прогноза водного режима, разработанной профессором Головановым А.И., для оценки режима орошения в различных почвенно-климатических условиях при круглогодичном выращивании сельскохозяйственных культур на территории Бурунди.

Задачи исследования

1. Выбор и совершенствование системы математических моделей для прогноза водного режима почвы и оценки продуктивности сельскохозяйственных культур при (и без) орошения земель в республике Бурунди в условиях круглогодичного земледелия.
2. Количественный анализ и разработка методики обработки исходных данных для моделирования.
3. Разработка методики расчета требований растений к водному режиму в условиях круглогодичного земледелия.
4. Оценка возможности использования вычислительной системы «Обоснование необходимости водных мелиораций», разработанной на основе моделей предложенных профессорами Головановым А.И. и Шабановым В.В. для решения поставленных задач.
5. Расчет водного режима и управляющих воздействий (режима орошения), для оценки повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.
6. Оценки продуктивности выращивания сельскохозяйственных культур по сезонам и круглый год при различном их сочетании.
7. Обоснование необходимости мелиорации в республике Бурунди на примере земель бассейна реки Русизи.

На защиту выносятся:

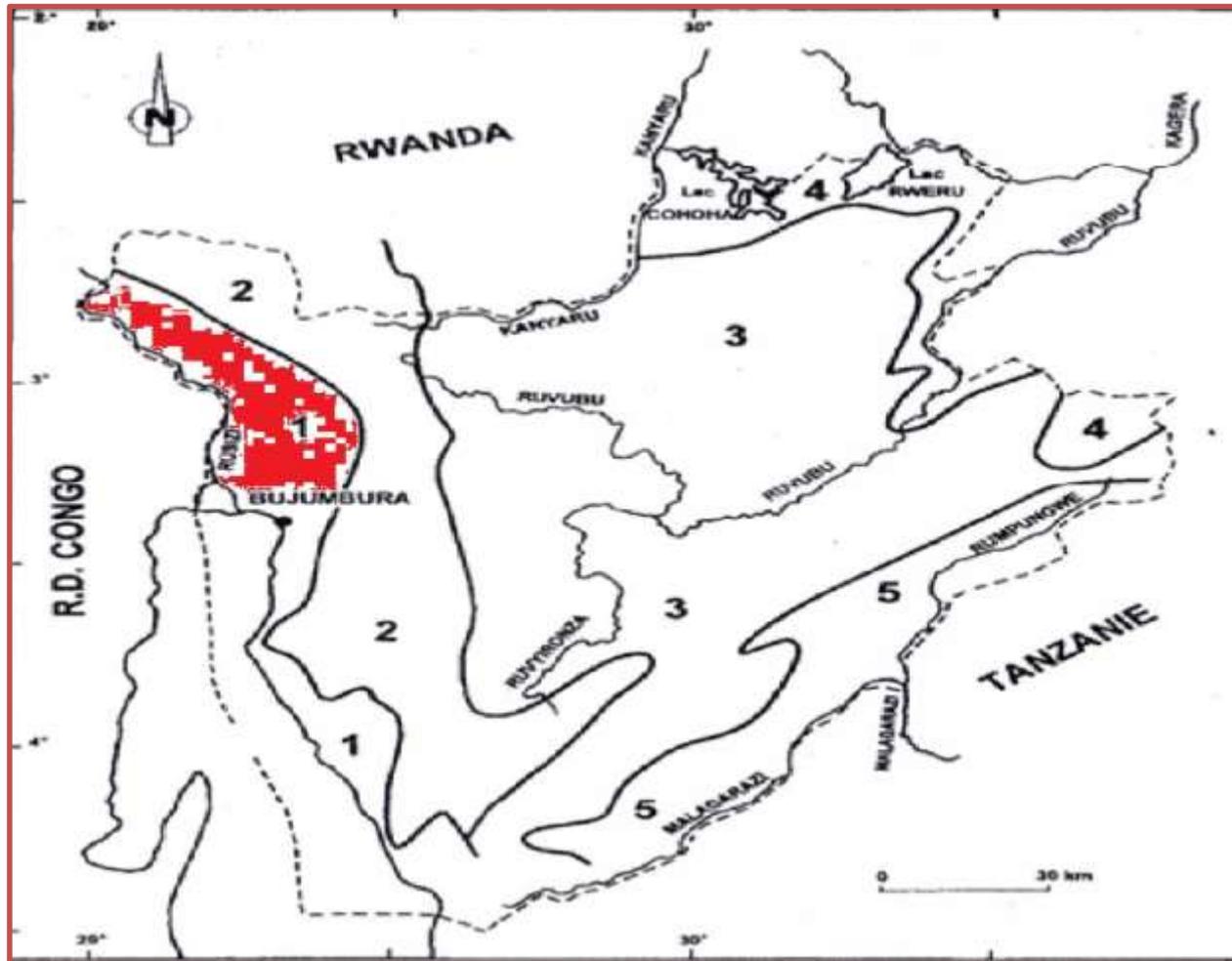
1. Возможность решения продовольственной проблемы Бурунди с помощью мелиорации при развитии круглогодичного орошаемого земледелия.
2. Результаты исследования параметров внешней среды, как случайных метеорологических процессов (методы скользящей средней для определения стационарности случайного процесса и матриц переходных вероятностей для качественной оценки законов распределения случайных величин: осадков, температур, влажностей воздуха и почвы).
3. Оценка стационарности годового и сезонного изменения параметров внешней среды.
4. Выбор нормального закона распределения параметров внешней среды при обработке входных данных (температура и влажность воздуха).
5. Параметры усовершенствованной модели «Полив», проф. Голованова А.И, для условий тропического климата.
6. Результаты математического моделирования процессов влагопереноса в тропических условиях и расчета продуктивности при (и без) орошения.
7. Биоклиматическое обоснование необходимости проведения мелиорации в различные периоды года при выращивании сельскохозяйственных культур (на примере картофеля).

Практическая ценность и значимость работы.

Результаты исследований позволили:

- 1.Использовать усовершенствованные модели вычислительной системы «Прогноз водного режима почв» для **решения** поставленных задач.
- 2.Обосновать возможность высокой продуктивности круглогодичного мелиоративного (орошение и осушение) земледелия.
- 3.Обосновать необходимости орошения в республике Бурунди.
- 4.Показать эффективность орошения и обосновать диапазон регулирования водного режима различных культур.
- 5.Получен инструмент, позволяющий обосновывать распределения воды для орошения сельскохозяйственных культур в течение всего года.
- 6.Данную работу предполагается использовать в Министерстве сельского хозяйства республики Бурунди для дальнейшего развития мелиорации земель страны, на стадии разработки Обосновывающих материалов и Технико-экономического обоснования.

Физическая карта Бурунди



- 1: Западная впадина (Имбо). : Бассейн реки Русизи
2. Конго-Нильский хребет. 3. Центральное плато.
4. Северо-восточные впадины. 5. Восточные впадины.

Характеристики республики Бурунди

- Бурунди, страна центрально- восточной Африки.
- Столица Бужумбура
- Площадь страны составляет 27 830 км²
- Население страны составляет 8 053 574 (данные за 2008).
- Плотность населения - 310 человек на км².
- Большую часть страны занимает плоскогорье: средняя высота 1500-2000м.
- Климат субэкваториальный, в пониженных районах жаркий тропический.
- В столице Бужумбура (высота над уровнем моря:774м), средние месячные температуры изменяются от 23 до 25 °С. На высоте более 1500м от 17 до 20 °С
- Осадки: средние суммарные годовые: 700-1000мм на побережье озера Танганьика (Бужумбура) и до 1400-1600 мм на водораздельном хребте Конго-Нил.

Характеристики бассейна реки Русизи

Расположение участка: Бассейн реки Русизи расположен севернее озера Танганьика. Он находится между параллелями $2^{\circ}42'$ и $3^{\circ}24'$ южной широты и 29° и $29^{\circ}22'$ западной долготы. Ширина бассейна варьирует между 4 и 10 км в узкой северной части и достигает 25 км в южной.

Климат: Климат, по сравнению с другими регионами страны, более жаркий и сухой. Средняя месячная температура воздуха, составляет от 23 до 25 $^{\circ}\text{C}$. Средние суммарные годовые осадки составляет 650 – 900 мм.

Почвы: аллювиальные черные тропические почвы. Они сложились за счет чередования сухого и влажного сезонов, содержание гумуса в них достигает 4%.

Карта территории планируемого развития орошения



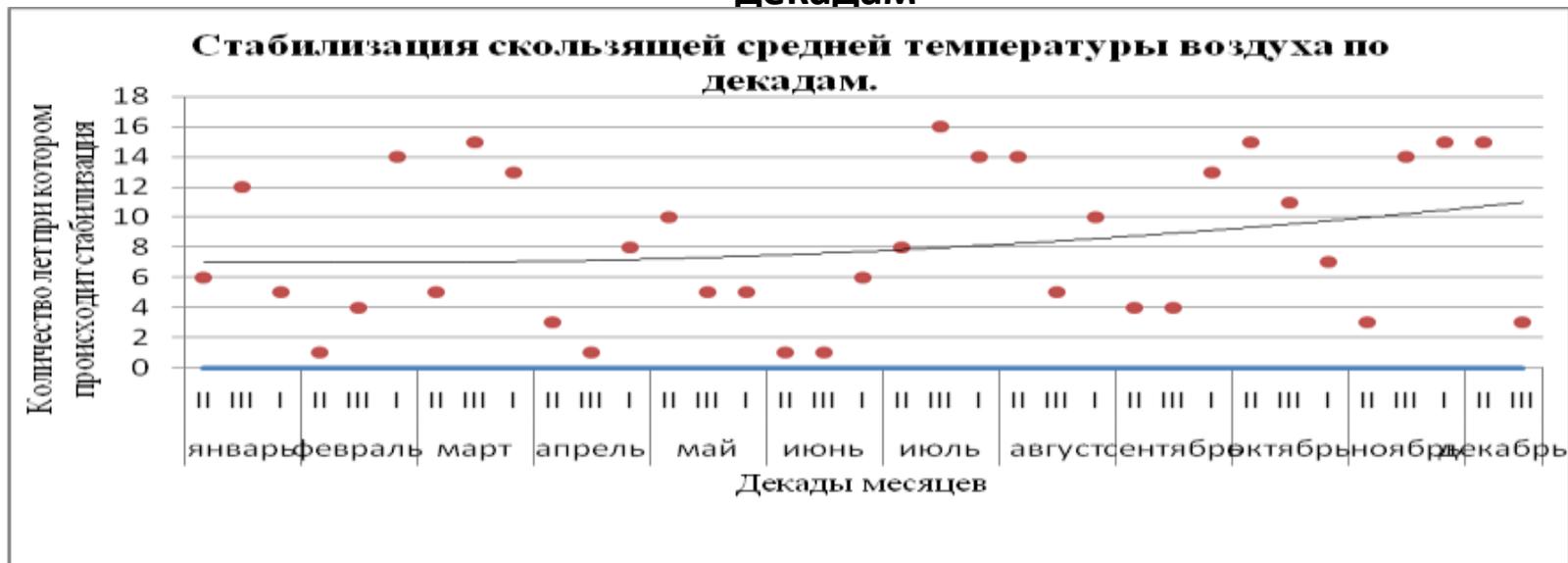
Подготовка исходных данных для расчетов

Оценка достаточности длины ряда наблюдений метеорологических данных.

Изменение времени стабилизации скользящей средней температуры воздуха по месяцам



Изменение времени стабилизации скользящей средней температуры воздуха по декадам



Каждая точка этих графиков показывает достаточное число точек (лет) ряда наблюдений для получения заданной точности.

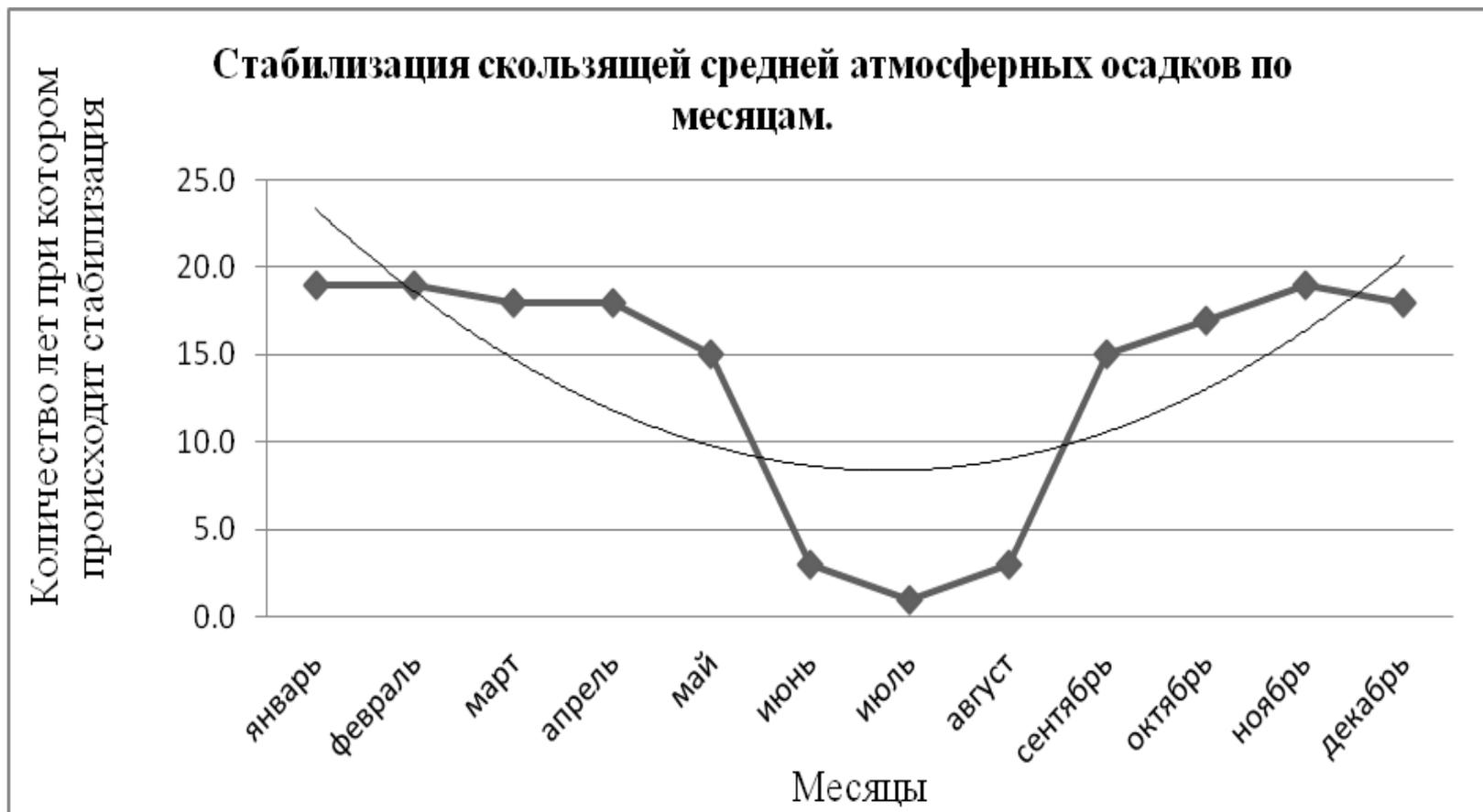
Необходимое количество точек зависит от межгодового варьирования метеорологического параметра в конкретном месяце или декаде.

На графиках наблюдается периодическое колебание достаточной длины статистического ряда от 3 до 16.

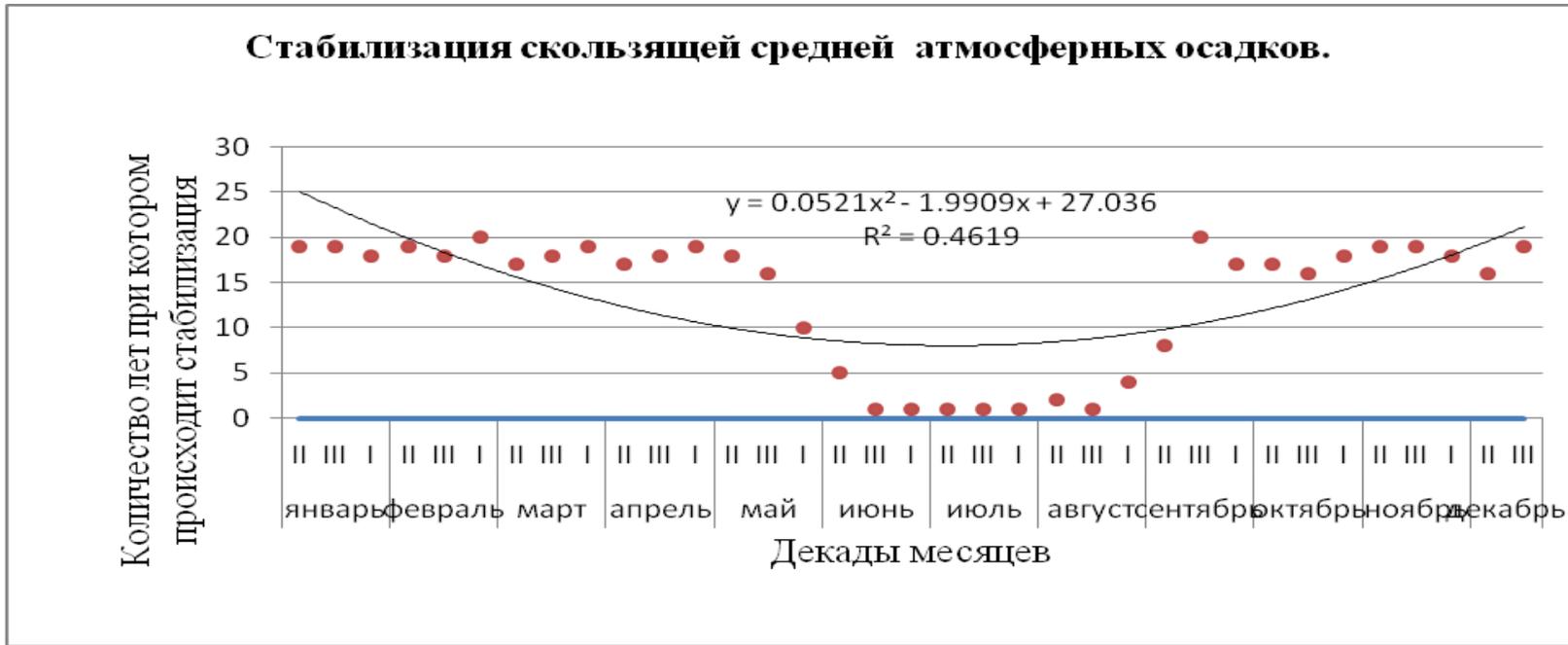
Таким образом, можно заключить, что «протяженность» ряда наблюдений за температурами воздуха должна быть не менее 16 лет.

В данной работе продолжительность наблюдений за метеорологическими параметрами составляет 20 лет, что обеспечивает достаточную точность статистических оценок.

Изменение времени стабилизации скользящей средней атмосферных осадков по месяцам.



Изменение времени стабилизации скользящей средней атмосферных осадков по декадам.



Аналогичная ситуация прослеживается при анализе статистических рядов осадков.

Здесь минимальное варьирование и минимальная длина ряда приходится на «сухой сезон».

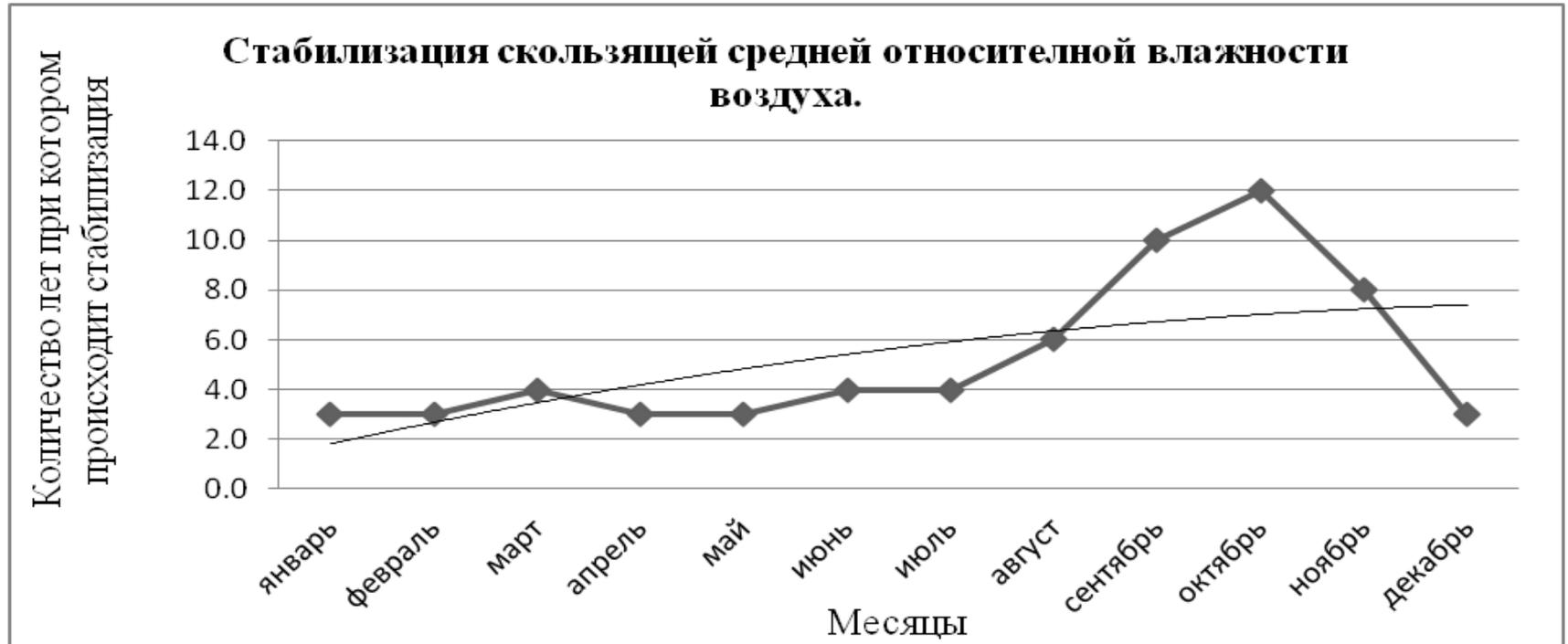
В остальное время необходимая продолжительность ряда наблюдений не превышает $n=20$.

Таким образом, имеющиеся ряды наблюдения обеспечивают достаточную точность и по этому параметру.

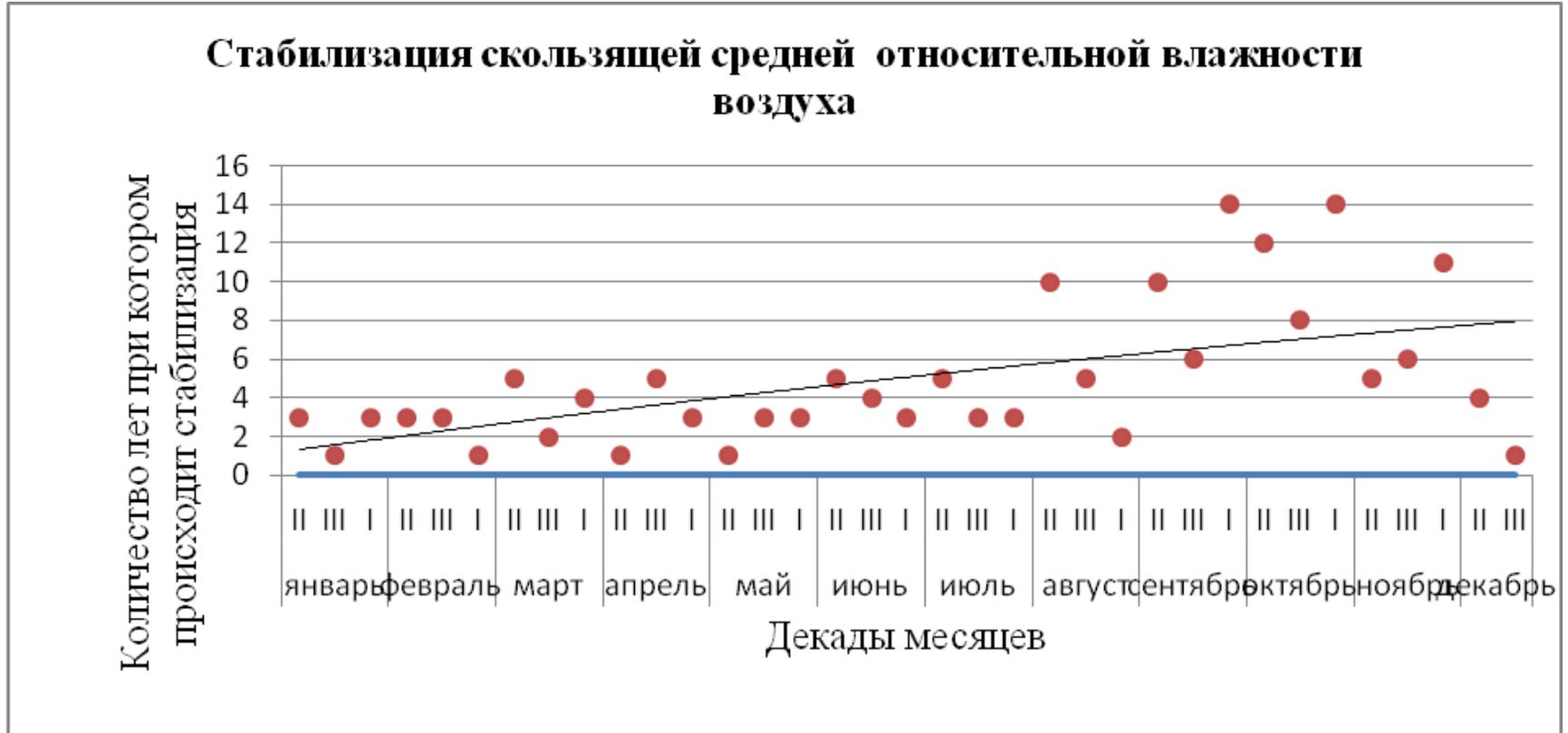
Аналогичная картина наблюдается и для влажности воздуха, параметра который необходим для расчета испарения.

Особенностью является лишь то, что наибольшее варьирование, а следовательно и наибольшая продолжительность ряда приходится на «сезон дождей». Результаты обработки показаны на графиках, приведенных ниже.

Изменение времени стабилизации скользящей средней относительной влажности воздуха по месяцам.



Изменение времени стабилизации скользящей средней относительной влажности воздуха по декадам.



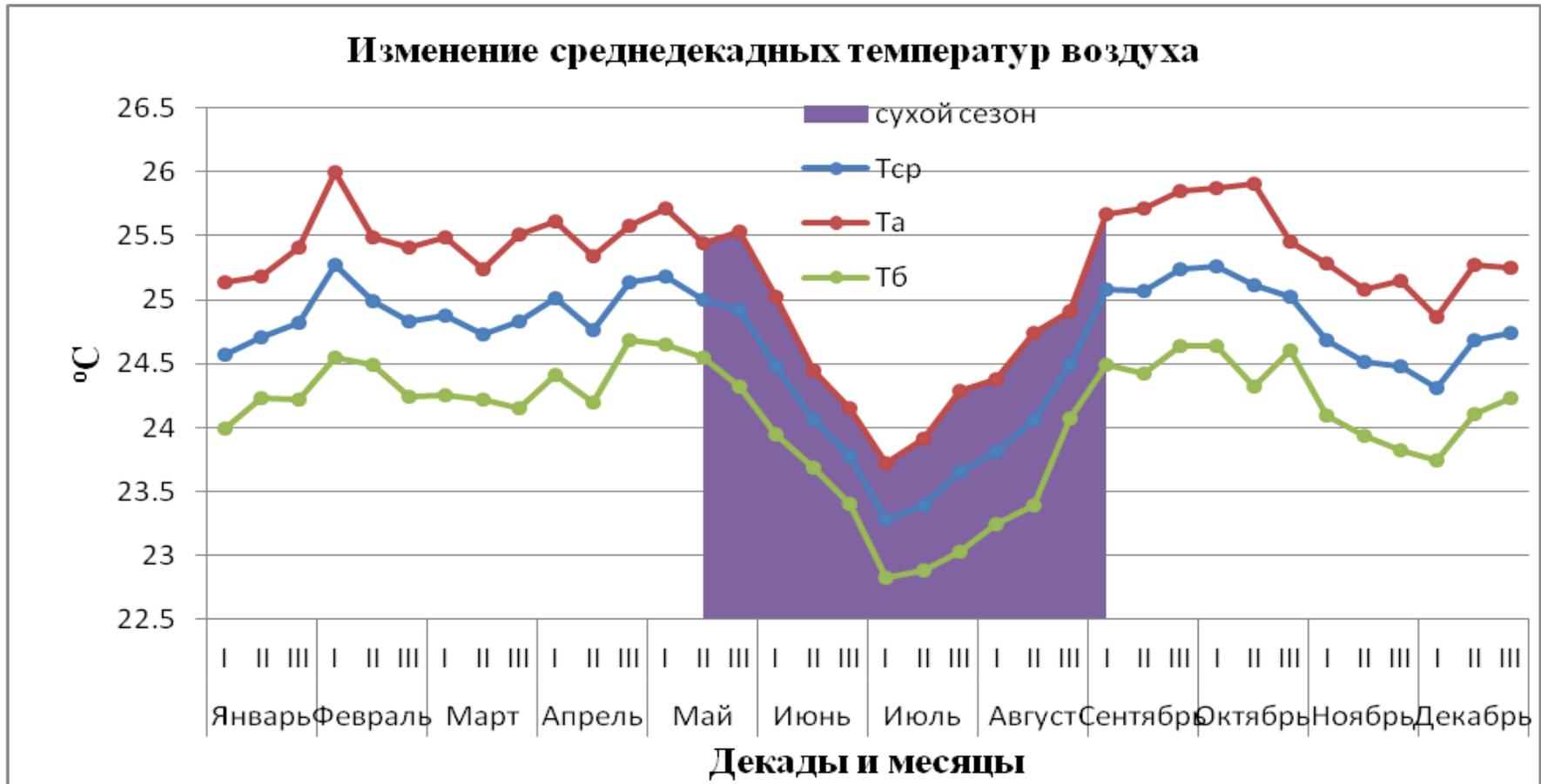
A

Выводы: о достаточности длины ряда наблюдений метеорологических данных.

- При анализе метеорологических данных, определена достаточная продолжительность наблюдений для температур воздуха, атмосферных осадков и относительной влажности методом скользящей средней, она не превышает 20 лет.
- Время стабилизации среднего меняется по периодам и сезонам года и в зависимости от метеорологического параметра. В отдельных времени минимальная продолжительность наблюдений составляет 1 год
- Так как во все периоды и сезоны года для трех метеорологических параметров, максимальная продолжительность стабилизации не превышает 20 лет данные ряды метеорологических параметров можно использовать для дальнейшего исследования.

Результаты статистической обработки температуры воздуха

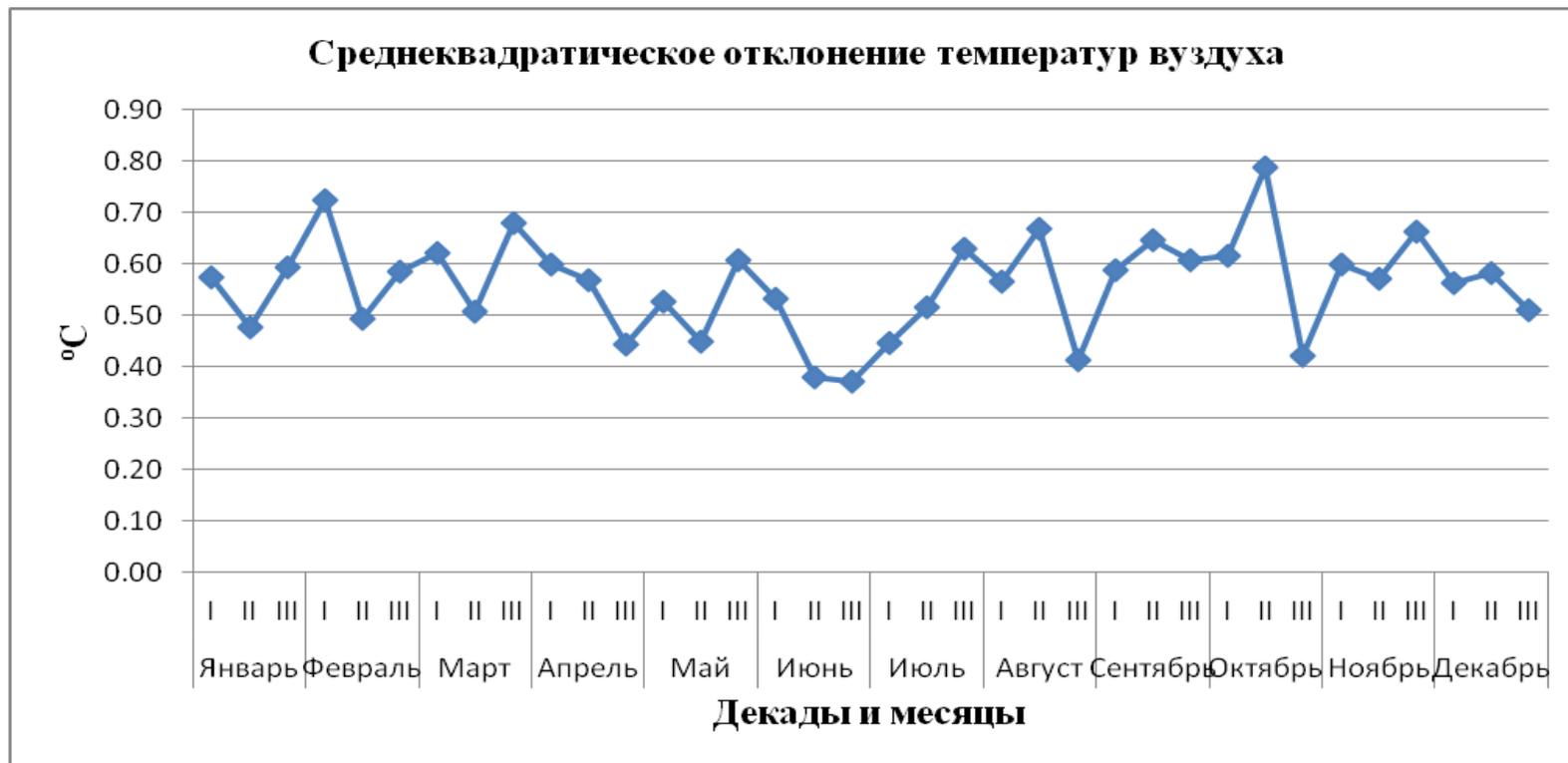
Изменение средней декадной температуры воздуха за каждую декаду года



$T_a = T_{ср} + \sigma$: средняя декадная температура воздуха плюс среднее квадратическое отклонения. $T_b = T_{ср} - \sigma$: средняя декадная температура воздуха минус среднее квадратическое отклонения.

Как видно из рисунка изменение температур незначительно 24 ± 1 °C

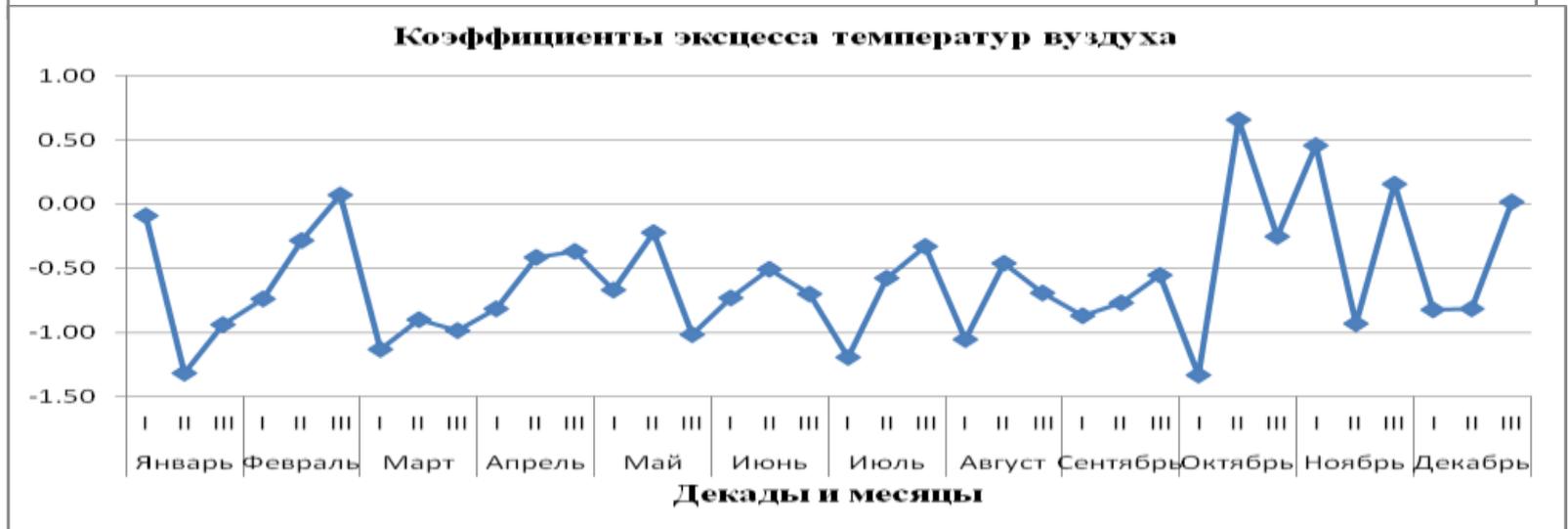
Изменение среднеквадратического отклонения температуры воздуха.



Стабильность температур подтверждается малыми значениями средних квадратических отклонений и малыми коэффициентами вариации (около 0.5%)

Для доказательства нормальности закона распределения температур были рассчитаны коэффициенты асимметрии и эксцесса. Результаты приведены на рисунке, показанном ниже.

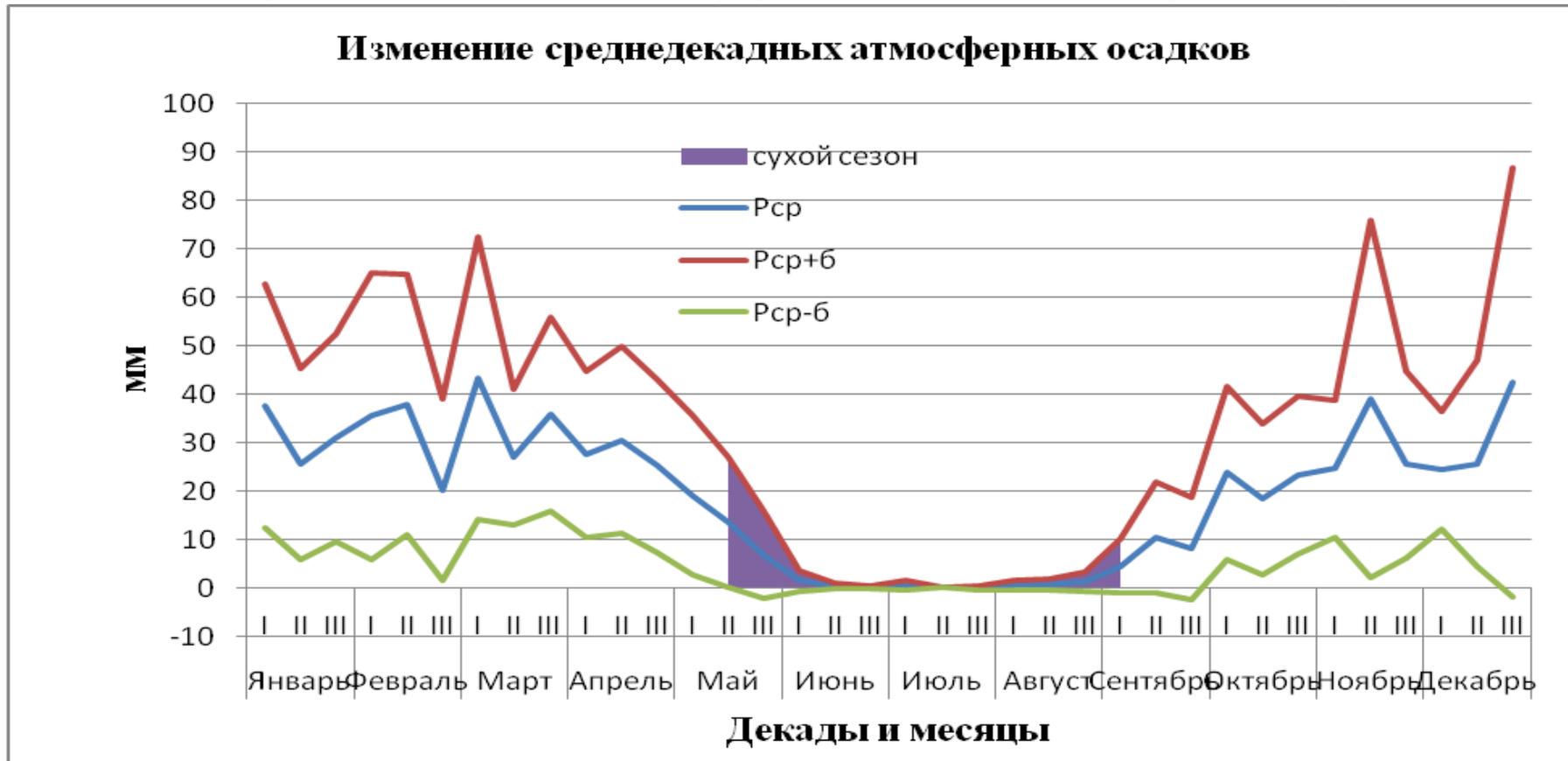
Изменение коэффициентов асимметрии и эксцесса температуры воздуха.



Коэффициенты асимметрии колеблются около нуля с отклонениями ± 0.4 . Эксцессы по декадам года по абсолютной величине невелики (около -0.5). Все это свидетельствует, что законы распределения температур близки к нормальному.

Результаты статистической обработки атмосферных осадков

Изменение средней декадной атмосферных осадков за каждую декаду года

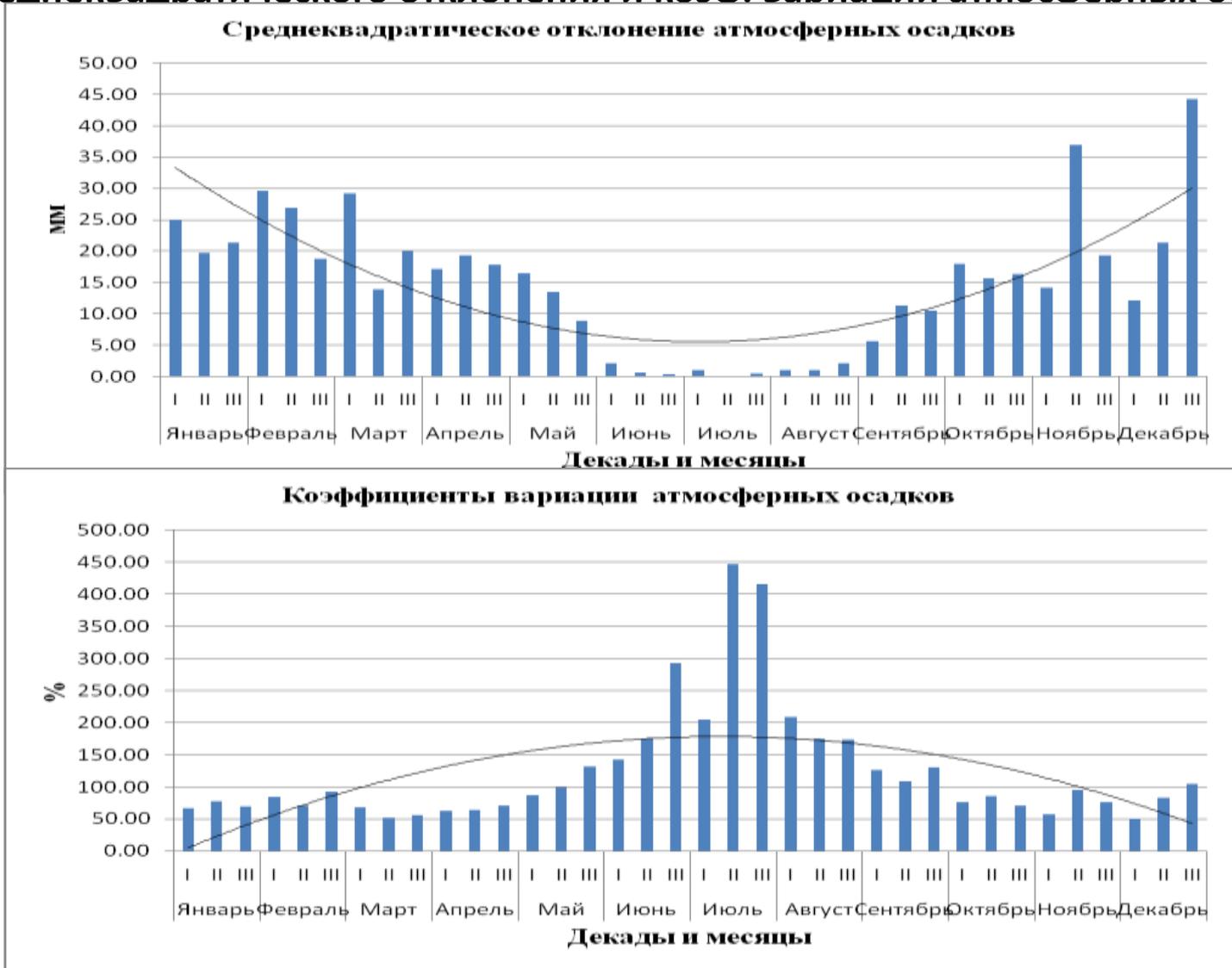


Средне декадные величины осадков меняются существенно (от 40 мм в декаду до нуля).

При этом варьирование осадков во все сезоны, кроме сухого имеет значительные величины. Это может свидетельствовать, что закон распределения осадков отклоняется от нормального.

Дополнительное подтверждение этой гипотезы можно получить, рассчитав коэффициенты вариации, асимметрии и эксцессы этих рядов.

Изменение среднеквадратического отклонения и коэф. вариации атмосферных осадков.



Средние квадратические отклонения достаточно велики, поэтому велики и коэффициенты вариации (от 50 до 450 %). Особо неравномерно по годам выпадают осадки в сухой сезон. Это дает основания считать, что регулярное орошение в этот сезон будет наиболее эффективно.

Изменение коэффициентов асимметрии и эксцесса атмосферных осадков.

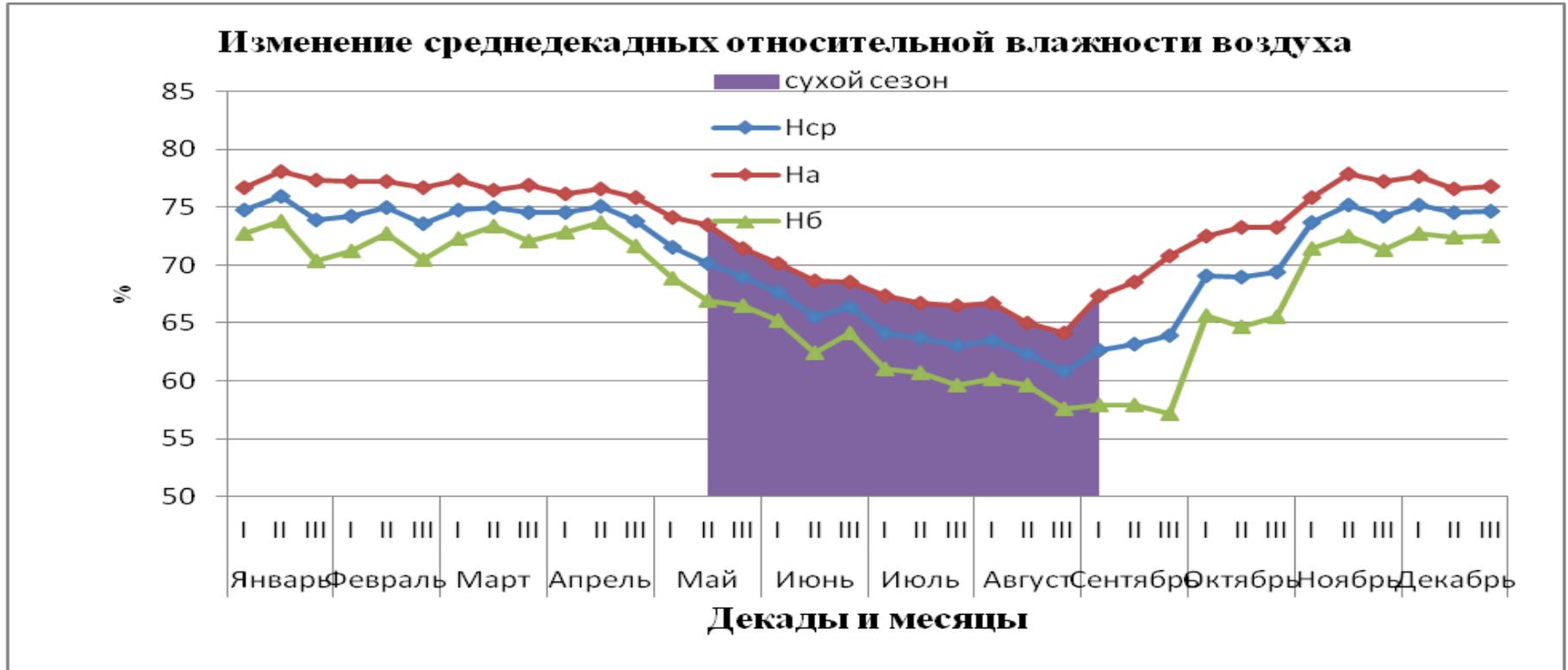


Анализ коэффициентов асимметрии и эксцесса осадков показывает, что они существенны, поэтому законы распределения могут отличаться от нормального.

Это означает, что для их характеристики использование только средних величин недостаточно, т.к. это может привести к неправильным выводам при обосновании необходимости мелиорации.

Результаты статистической обработки относительной влажности

Изменение средней декадной относительной влажности за каждую декаду года

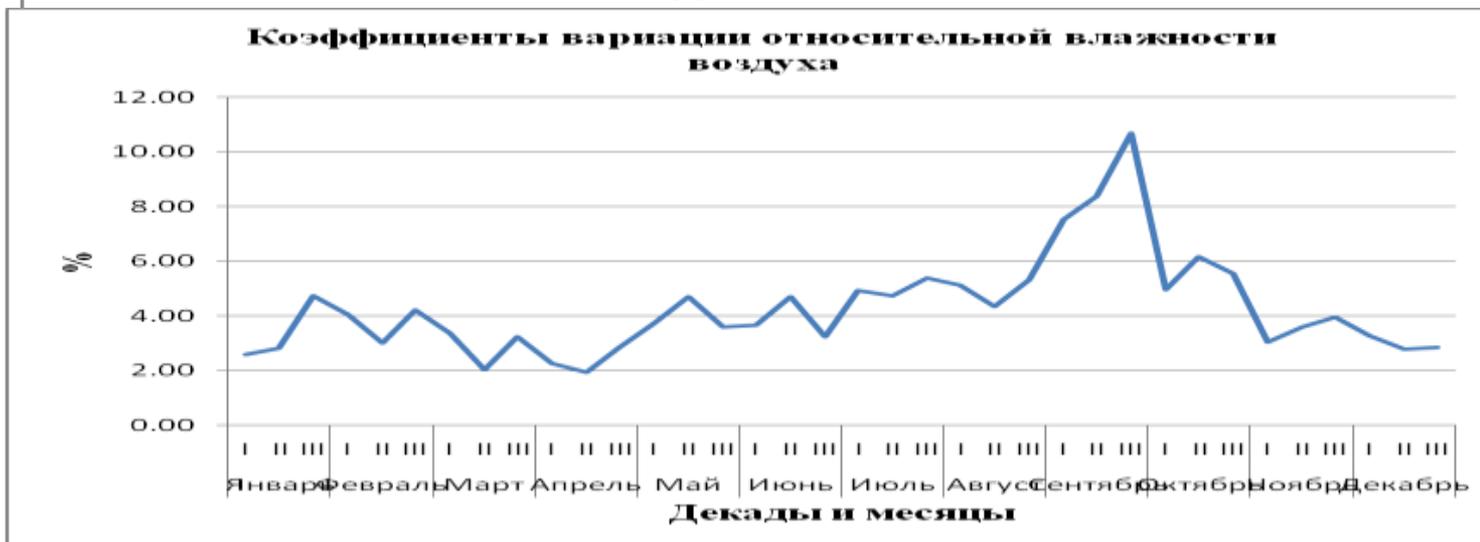


Ha = Hcp-σ: годовая средняя относительная влажность минус среднее квадратическое отклонение.

Hб = Hcp+σ: годовая средняя относительная влажность плюс среднее квадратическое отклонение.

Относительные влажности воздуха варьируют менее значительно, чем осадки. В среднем равны 75% во все сезонны, кроме сухого. Но и в сухой сезон ниже 60% не падают.

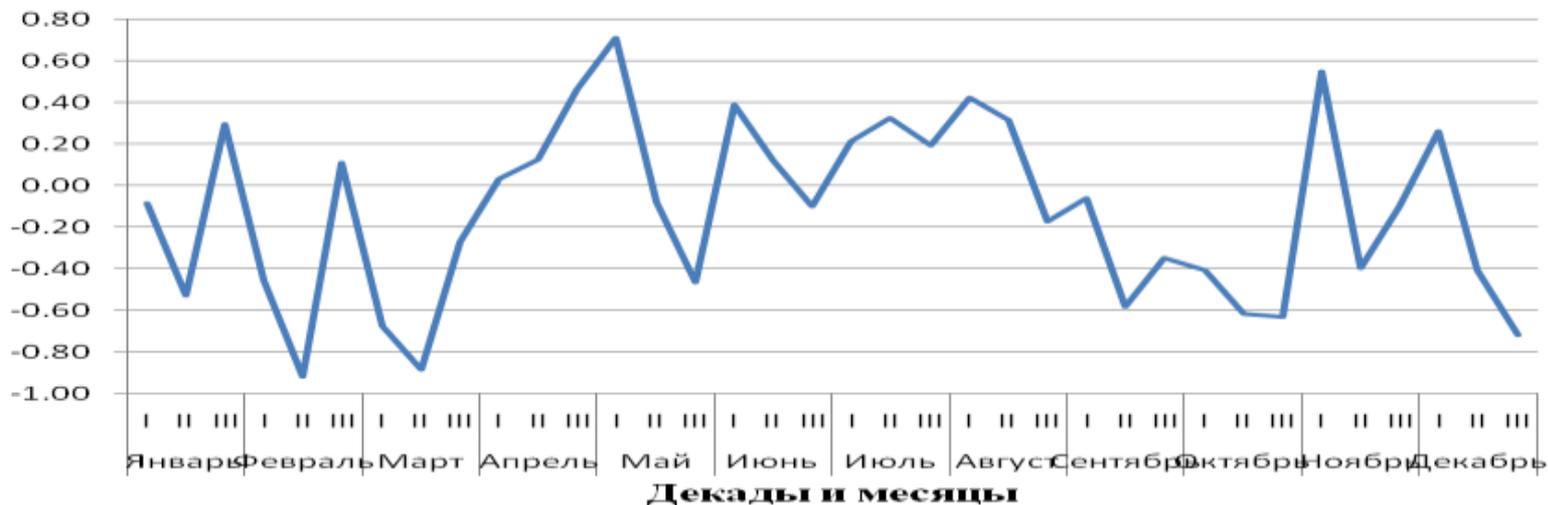
Изменение среднеквадратического отклонения и коэф. вариации относит. влажности.



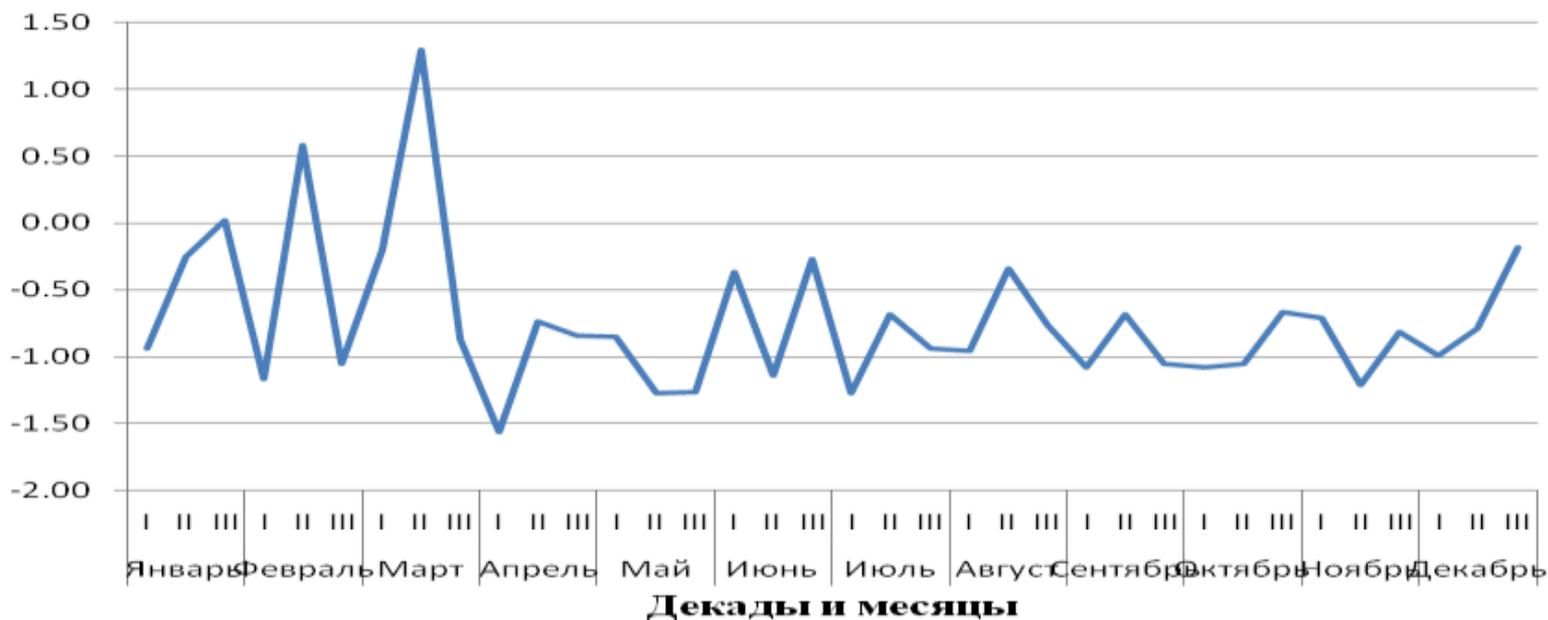
Варьирование влажности воздуха незначительно – коэффициенты вариации от 2 до 8 %. Это дает возможность полагать, что закон распределения относительной влажности воздуха близок к нормальному, что подтверждают и небольшие коэффициенты асимметрии и эксцесса. (см. рис ниже)

Изменение коэффициентов асимметрии и эксцесса относительной влажности.

Коэффициенты асимметрии относительной влажности воздуха



Коэффициенты эксцесса относительной влажности воздуха



Выводы по статистической обработке факторов внешней среды.

I. Температура воздуха

1. Температурный режим воздуха в бассейне реки Русизи меняется незначительно.
2. Средняя декадная температуры воздуха изменяется от 23,28 до 25,08 °С в сухом сезоне, а во влажном сезоне от 24,30 до 25,27 °С.
3. В сухой сезон, величина среднего квадратического отклонения изменяется от 0,37 до 0,67 °С; во влажном - от 0,42 до 0,79 °С.
4. Коэффициент вариации C_v равен 1,69-3,14 % во влажном сезоне и 1,57 – 2,78 % в сухом сезоне.
5. В течение года коэффициент асимметрии и эксцесса колеблются около нуля с диапазоном от -0,58 до 0,88 для первого и от -1,33 до 0,66 для второго. Мода, медиана и средние значения температуры воздуха почти совпадают.
6. Закон распределения температуры воздуха в бассейне реки Русизи приближающихся к нормальному закону распределения случайных величин.
7. При анализе многолетних данных температуры воздуха за период 1990-2010, выявлена тенденция к увеличению температуры воздуха примерно на 1°С (точнее 0,95°С) за 30 лет, что составляет 0,31 ° С за 10 лет. Хотя тенденция роста температуры и небольшая, по видимому ее нужно учитывать, в дальнейшем, при прогнозах.

Выводы по статистической обработке факторов внешней среды.

II. Осадки

1. Средняя годовая сумма атмосферных осадков примерно равно 700 мм.
2. Во влажный сезон выпадает 661,48мм, а в сухой 29,62 мм.
3. Величина среднего квадратического отклонения атмосферных осадков по декадам составляет 14,78 мм. Она изменяет от 0,02 (первая декада июля месяца – сухой сезон) до 44,28 мм (третья декада декабря месяца – влажный сезон).
4. Коэффициент вариации изменяется от 49,91 (первая декада декабря месяца – влажный сезон) до 447,21% (июль – сухой сезон).
5. Сухой сезон характеризуется малыми величинам среднего квадратического отклонения. Но в этом сезоне уменьшаются осадки (почти 0 мм) что и увеличивает варьирование.
6. Коэффициенты асимметрии и эксцесса колеблются вокруг нулевые значения. Тенденция к направленным изменениям атмосферных осадков (тренду) не наблюдается. Однако закон распределения атмосферных осадков нельзя считать приближающимся к нормальному закону .

Выводы по статистической обработке факторов внешней среды.

III. Относительные влажности воздуха.

1. Годовой режим относительной влажности характеризуется малым варьированием.
2. Среднее квадратическое отклонение изменяется от 1,47 до 6,82%, а коэффициент вариации от 1,96 до 10,67%.
3. Коэффициент асимметрии и эксцесса колеблются вокруг нулевые значения с изменениями от -0,92 до 0,71 для первого коэффициента, и от -1,56 до 1,29 для второго.
4. Среднее значения влажности, мода и медиане почти одинаковые.
5. Можно считать закон распределения относительной влажности как нормальный закон распределения.

Тенденция к направленным изменениям относительной влажности не наблюдается.

В исследованиях, приведенных выше, параметры, характеризующие условия внешней среды, рассматривались как случайные величины, Однако более точно было бы рассматривать их как случайные функции и характеризовать их матрицами переходных вероятностей. Для данного исследования этот аппарат использовался для того, чтобы иметь возможность прогнозировать значение фактора в последующую декаду, зная значение в предыдущую.

Матрицы переходных вероятностей факторов внешней среды

Матрицы температуры воздуха в течение года (с 1990 по 2010)

	22.01-23	23.01-24	24.01-25	25.01-26	26.01-27	Сумма
22.01-23	8 0.47	6 0.35	3 0.18			17
23.01-24	8 0.06	70 0.51	52 0.38	8 0.06		138
24.01-25	1	52 0.15	214 0.64	69 0.21		336
25.01-26		10 0.04	76 0.33	131 0.57	13 0.06	230
26.01-27			1 0.07	10 0.71	3 0.21	14

Матрица переходных вероятностей температур воздуха почти диагональна, т.е. вероятность сохранения температуры из декады в декаду, достаточно высока (около 0.5).

Однако при высоких температурах в предыдущую декаду вероятность сохранения таких температур уменьшается. В этом случае возрастает вероятность понижения температур примерно на 1⁰C. Во влажный сезон эта тенденция усиливается, в сухой невелируется (см. рис. ниже).

Матрицы температуры воздуха в сухой сезон (июнь - август)

	22.51-23	23.01-23.5	23.51-24	24.01-24.5	24.51-25	25.01-25.5	
22.51-23	9 0.45	4 0.20	4 0.20	2 0.10	1 0.05		20
23.01-23.5	5 0.18	11 0.39	8 0.29	3 0.11	1 0.04		28
23.51-24	4 0.07	12 0.21	25 0.44	11 0.19	4 0.07	1 0.02	57
24.01-24.5		4 0.10	12 0.29	21 0.51	4 0.10		41
24.51-25			4 0.24	5 0.29	7 0.41	1 0.06	17
25.01-25.5				2 0.40	3 0.60		5

Матрицы температуры воздуха в влажной сезон (декабрь - февраль)

	23.51-24	24.01-24.5	24.51-25	25.01-25.5	25.51-26	26.01-26.5	Сумма
23.51-24	3 0.20	7 0.47	5 0.33				15
24.01-24.5	7 0.20	10 0.29	13 0.37	4 0.11	1 0.03		35
24.51-25	1 0.02	11 0.18	29 0.48	17 0.28	3 0.05		61
25.01-25.5	1 0.03	5 0.13	10 0.26	16 0.42	2 0.05	4 0.11	38
25.51-26		1 0.07	3 0.21	2 0.14	7 0.50	1 0.07	14
26.01-26.5			1 0.20	1 0.20	3 0.60		5

Матрицы переходных вероятностей факторов внешней среды

Матрицы относительной влажности воздуха в течение года (с 1990 по 2010)

Матрица переходных вероятностей влажности воздуха **тоже** почти диагональна, т.е. вероятность сохранения влажности из декады в декаду, достаточно высока (около 0.6 – 0.7).

Однако при высоких влажностях в предыдущую декаду вероятность сохранения таких значений уменьшается. В этом случае возрастает вероятность понижения относительной влажности примерно на 5%. При разделении данных по сезонам тенденции отмеченные для температур сохраняются.

	50.1-55	55.1-60	60.1-65	65.1-70	70.1-75	75.1-80	80.1-85	
50.1-55	2 0.17	1 0.33	2 0.17	1 0.00				6
55.1-60	4 0.12	18 0.55	4 0.12	6 0.18	1 0.03			33
60.1-65		11 0.09	84 0.70	19 0.16	6 0.05			120
65.1-70		1 0.01	30 0.20	87 0.59	29 0.20			147
70.1-75			1 0.00	39 0.15	166 0.63	59 0.22		265
75.1-80				2 0.01	61 0.38	96 0.60	2 0.01	161
80.1-85						3 1.00		3

Матрицы относительной влажности воздуха в сухой сезон (июнь - август)

	52.1-56	56.1-60	60.1-64	64.1-68	68.1-72	сумма
52.1-56	1 1.00					1
56.1-60	0.00	7 0.54	4 0.31	0.00	2 0.15	13
60.1-64	1 0.02	13 0.20	40 0.63	9 0.14	1 0.02	64
64.1-68	0.00	1 0.02	24 0.42	25 0.44	7 0.12	57
68.1-72	0.00	2 0.06	3 0.09	13 0.39	15 0.45	33

Матрицы относительной влажности воздуха в влажной сезон (декабрь - февраль)

	66.1-69	69.1-72	72.1-75	75.1-78	78.1-81	сумма
66.1-69	1 0.50	1 0.50				2
69.1-72	2 0.08	9 0.38	5 0.21	8 0.33		24
72.1-75		7 0.13	23 0.41	25 0.45	1 0.02	56
75.1-78		13 0.18	19 0.26	33 0.46	7 0.10	72
78.1-81			3 0.21	6 0.43	5 0.36	14

Матрицы переходных вероятностей факторов внешней среды

Матрицы атмосферных осадков в течение года (с 1990 по 2010)

Матрицы переходных вероятностей осадков по своей структуре существенно отличаются от матриц для температур и относительных влажностей воздуха. Закономерности процесса выпадения осадков таковы, что практически при любых значениях осадков в предыдущую декаду, осадки в последующую будут ниже и с большой вероятностью попадут в диапазон 0-20 мм. Во влажный сезон эта тенденция несколько нарушается.

	0-20	20.1-40	40.1-60	60.1-80	80.1-100	100.1-120	сумма
0-20	342 0.75	57 0.13	36 0.08	14 0.03	2 0.00	2 0.00	453
20.1-40	58 0.38	57 0.37	25 0.16	5 0.03	7 0.05	1 0.01	153
40.1-60	31 0.39	31 0.39	14 0.18	1 0.01	2 0.03	1 0.01	80
60.1-80	12 0.46	6 0.23	5 0.19	2 0.08	1 0.04		26
80.1-100	7 0.39	4 0.22	3 0.17	2 0.11	2 0.11		18
100.1-120		2 0.40	2 0.40	1 0.20			5

Матрицы атмосферных осадков в сухой сезона (июнь - август)

	0-1	1.1-2	2.1-3	3.1-4	4.1-5	
0-1.1	119 0.83	13 0.09	8 0.06	3 0.02		143
1.1-2	17 1.00					17
2.1-3	2 1.00					2
3.1-4	4 0.80	1 0.20				5
4.1-5	1 1.00					1

Матрицы атмосферных осадков во время влажного сезона (декабрь - февраль)

	0-20	20.1-40	40.1-60	60.1-80	80.1-100	100.1-120	
0-20	31 0.53	13 0.22	9 0.15	3 0.05	1 0.02	2 0.03	59
20.1-40	18 0.33	20 0.36	9 0.16	2 0.04	5 0.09	1 0.02	55
40.1-60	9 0.28	12 0.38	8 0.25		3 0.09		32
60.1-80	3 0.38	2 0.25	2 0.25		1 0.13		8
80.1-100	2 0.18	5 0.45	3 0.27		1 0.09		11
100.1-120			2 0.67	1 0.33			3

Выводы по матрицам переходных вероятностей.

1. Анализ метеорологических данных на основе матриц переходных вероятностей, показал, что распределения выпадения атмосферных осадков отличается от нормального закона распределения. Поэтому для их описания кроме математического ожидания и среднего квадратического отклонения, необходимо добавить **такие** характеристики как эксцесс и асимметрия.

2. Матрицы переходных вероятностей относительной влажности и температуры воздуха практически во **все сезоны** года имеет диагональный **вид**. Можно делать вывод, что закон их распределения приближается к нормальному закону распределения.

3. Использование матриц переходных вероятностей расширяет знания о случайных процессах изменения метеорологических величин, И дает возможно краткосрочного прогнозирования параметров, что может быть полезно при оперативном управлении условиями внешней среды.

Расчет влагозапасов в почве под сельскохозяйственными культурами в различные сезоны года.

Расчеты проводились на основе усовершенствованной вычислительной системы «Полив», разработанной проф. Головановым А.И. при непосредственном его участии. Блок-схема взаимодействия моделей представлена на данном рисунке.

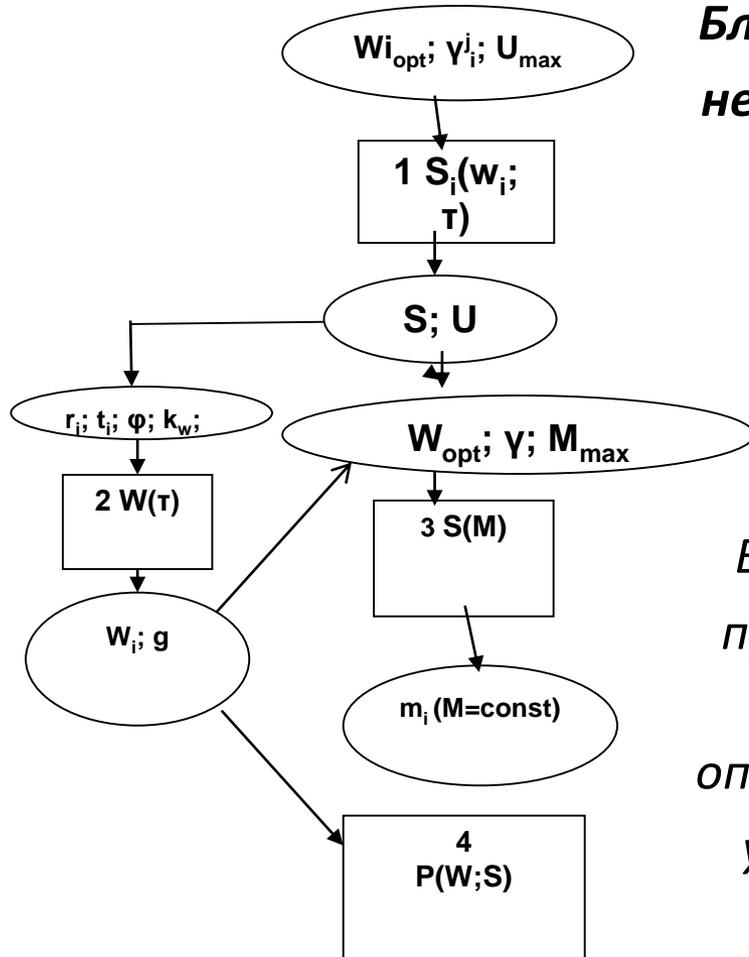
Блок-схема расчетной системы «Обоснование необходимости водных мелиораций»

Блок 1 – Система моделей требований сельскохозяйственных культур к условиям внешней среды.

Блок 2 – Система моделей прогноза влажности почвы.

Блок 3 – Система моделей зависимости продуктивности от оросительной нормы.

Блок 4 – Вероятностная оценка оптимальности условий и необходимости мелиорации.



Система подготовки исходных данных

Модель	Входные параметры	Выходные параметры
1. $S_i(w_i; \tau)$	$W_{i_{opt}}; \gamma_i^j; U_{max}$	$S; U;$
2. $W(\tau)$	$R_i; t_i; \varphi; k_w; n$	$W_i; g$
4. $P(S; W;$ M)	$W_{opt}; \gamma; M_{max}$	$P_{opt_{ij}}; P_{орош_{ij}};$ $P_{осушен_{ij}}$

i – индекс момента времени (номер декады)
 j – индекс сельскохозяйственной культуры (картофель, пшеница)
 n – показатель степени в зависимости «влагопроводность – влажность» (косвенная характеристика проницаемости грунтов)

Где, S_i – относительная продуктивность в i -ю декаду; w_i – влагозапасы в почве в i -ю декаду; τ – время; $W_{i_{opt}}$ – оптимальные влагозапасы в i -ю декаду; γ_i^j – коэффициент саморегулирования растения; U_{max} – максимальный урожай; S – относительная продуктивность за вегетацию; U – урожай;

$W(\tau)$ – изменение влагозапасов во времени; R_i атмосферные осадки в i -й момент времени; t_i - температура; φ – относительная влажность воздуха; k_w – коэффициент влагопроводности.

Кроме этого, для расчета водного режима почвы необходимы еще следующие параметры: пористость, ММВ, МГ, ВЗ, Нк, Кф (с учетом трещиноватости); W_i - влагозапасы в i -ю декаду вегетации; g – инфильтрация; $P_{opt_{ij}}$ – вероятность оптимальных условий для j – ой культуры в i – ю декаду; $P_{орош_{ij}}$ – вероятность необходимости орошения для j – ой культуры в i – ю декаду; $P_{осушен_{ij}}$ – вероятность необходимости осушения для j – ой культуры в i – ю декаду;

Использованная системы модель обоснования необходимости и эффективности водных мелиораций

Передвижение почвенной влаги и подземных вод описывается дифференциальным уравнением

где H – напор, м; $H = -x + \psi$;

$$C_{\omega} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{\omega} \frac{\partial H}{\partial y} \right) - e(x, t)$$

ψ – напор, эквивалентный каркасно-капиллярному давлению в зоне неполного насыщения ($\psi < 0$) и эквивалентный гидростатическому давлению в зоне полного насыщения; k_{ω} – коэффициент влагопроводности, зависящий от влажности почвы,

при полном влагонасыщении $k_{\omega} = k_{\phi}$; k_{ϕ} – коэффициент фильтрации; C_{ω} – коэффициент влагоемкости, $C_{\omega} = \partial \omega / \partial H = \partial \omega / \partial \psi$;

$$k_{\omega} = k_{\phi} \left(\frac{\omega - \omega_m}{p - \omega_m} \right)^5$$

Связь между каркасно-капиллярным потенциалом и влажностью почвы имеет вид

где ω – объемная влажность почвы, ; ω_m – максимальная гигроскопичность почвы, ; p – полная влагоемкость или пористость почвы, ; h_k – высота капиллярного подъема, м; ν и n – безразмерные эмпирические коэффициенты.

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

Использованная системы модель обоснования необходимости и эффективности водных мелиораций

Изменение относительной продуктивности S_i во времени от условий внешней среды имеет вид:

$$\frac{dS_i}{d\varphi_j} = \frac{kS(\varphi - \varphi_{opt})}{(\varphi + a_1)(\varphi - a_2)}$$

k - коэффициент, φ_{opt} - оптимальное значение j - го фактора в i - ый момент времени, φ_{min} и φ_{max} - соответственные функции от α_1 и α_2

Решения данного уравнения дает при $\varphi_{min} = 0$

$$S = \left(\frac{\varphi}{\varphi_{opt}} \right)^{\gamma\varphi_{opt}} \left(\frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{opt}} \right)^{\gamma(\varphi_{max} - \varphi_{opt})}$$

Осреднение значений S_i за время вегетации можно осуществлять по следующим зависимостям:

$$\bar{S}(\varphi) = \frac{U_j}{U_{max}(R)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i(\varphi)$$

С учетом вес декада, получается
$$\bar{S}(\varphi) = \sum \eta_i S_i(\varphi)$$

где η_i - вклад фактора φ в i -ый момент в конечную продуктивность.

Варианты расчетов

Были рассчитаны различные варианты (культуры, сезоны, проницаемости). В таблице даны относительные продуктивности при разной последовательности культур по четырем сезонам (16 вариантов), при $n=7$, без орошения.

Сезоны года Культуры	Первый сезон (Влажный сезон)	Второй сезон (Сухой сезон)	Третий сезон (Полусухой сезон)	Четвертый сезон (Влажный сезон)
К-П-К-П	$S=0,625$	$S=0,052$	$S=0,361$	$S=0,633$
К-П-П-К	$S=0,625$	$S=0,052$	$S=0,456$	$S=0,633$
П-К-К-П	$S=0,780$	$S=0,060$	$S=0,363$	$S=0,633$
К-К-К-К	$S=0,625$	$S=0,079$	$S=0,366$	$S=0,640$
П-П-П-П	$S=0,781$	$S=0,035$	$S=0,453$	$S=0,617$

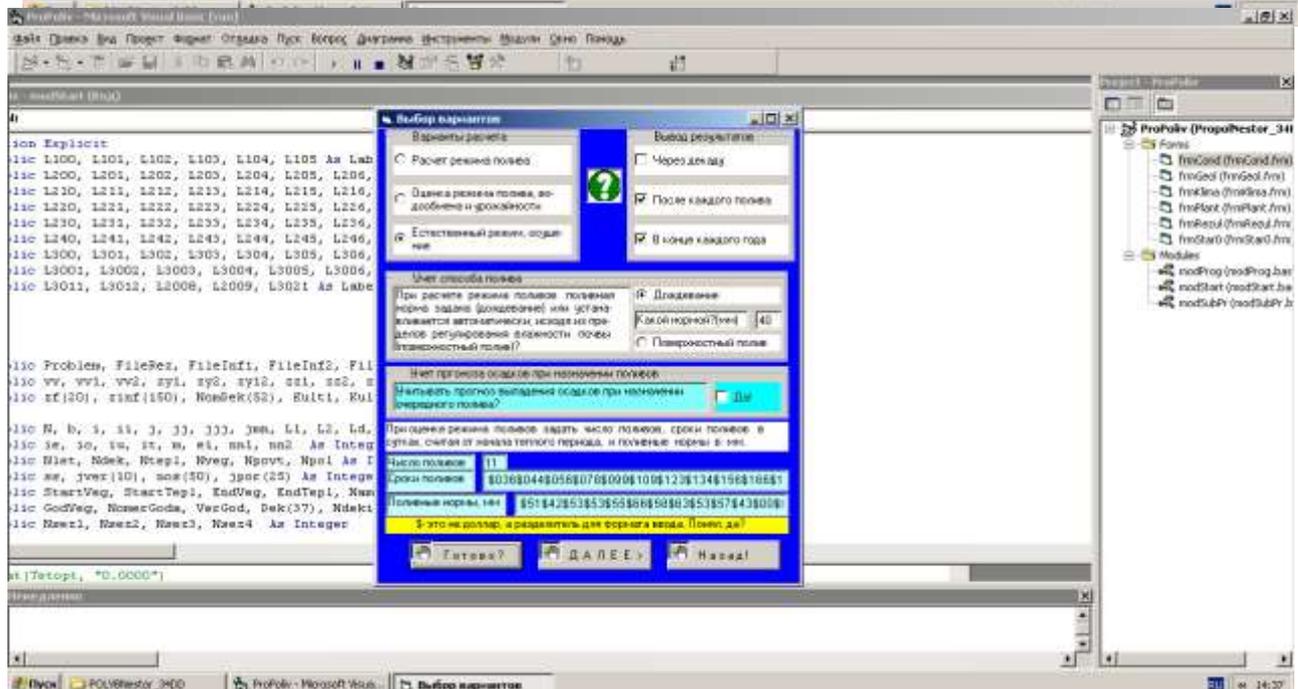
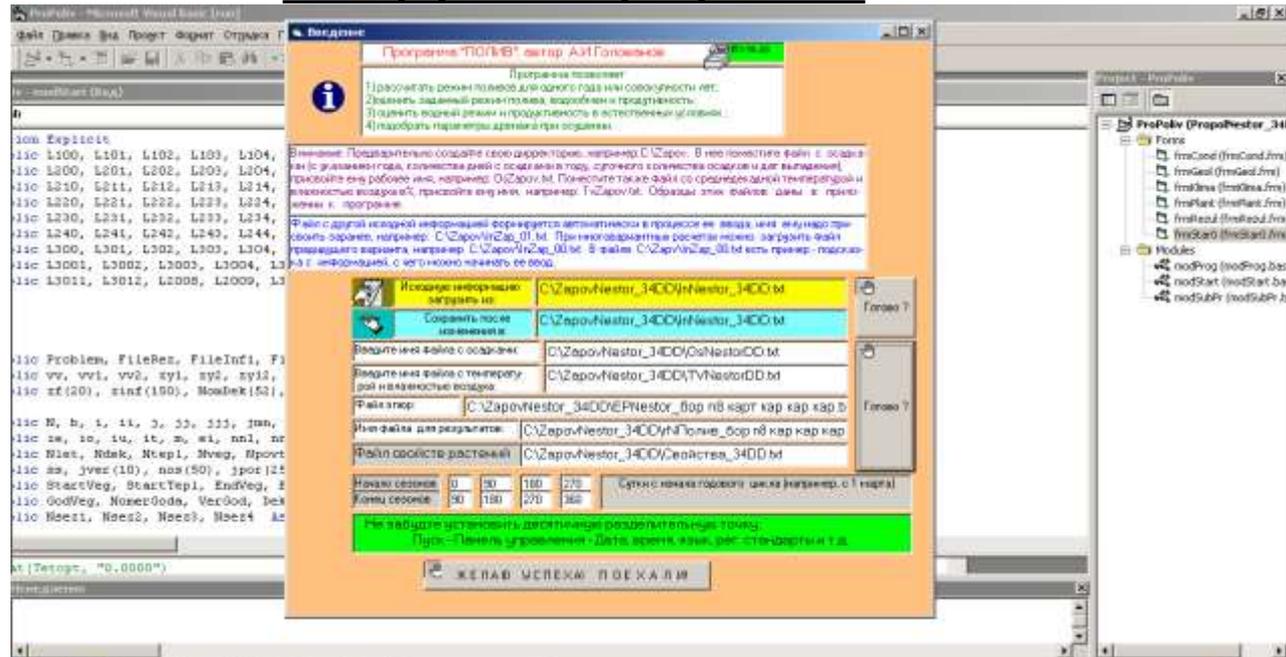
К- картофель, П- пшеница.

К-П-К-П: картофель – пшеница – картофель – пшеница.

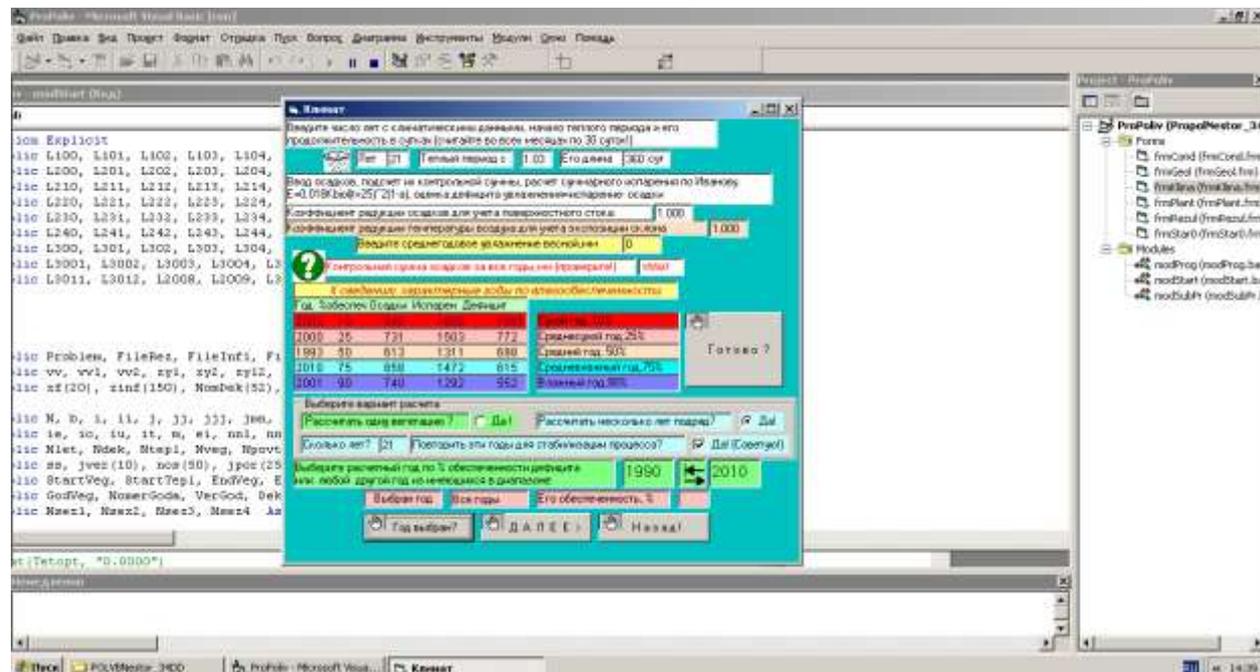
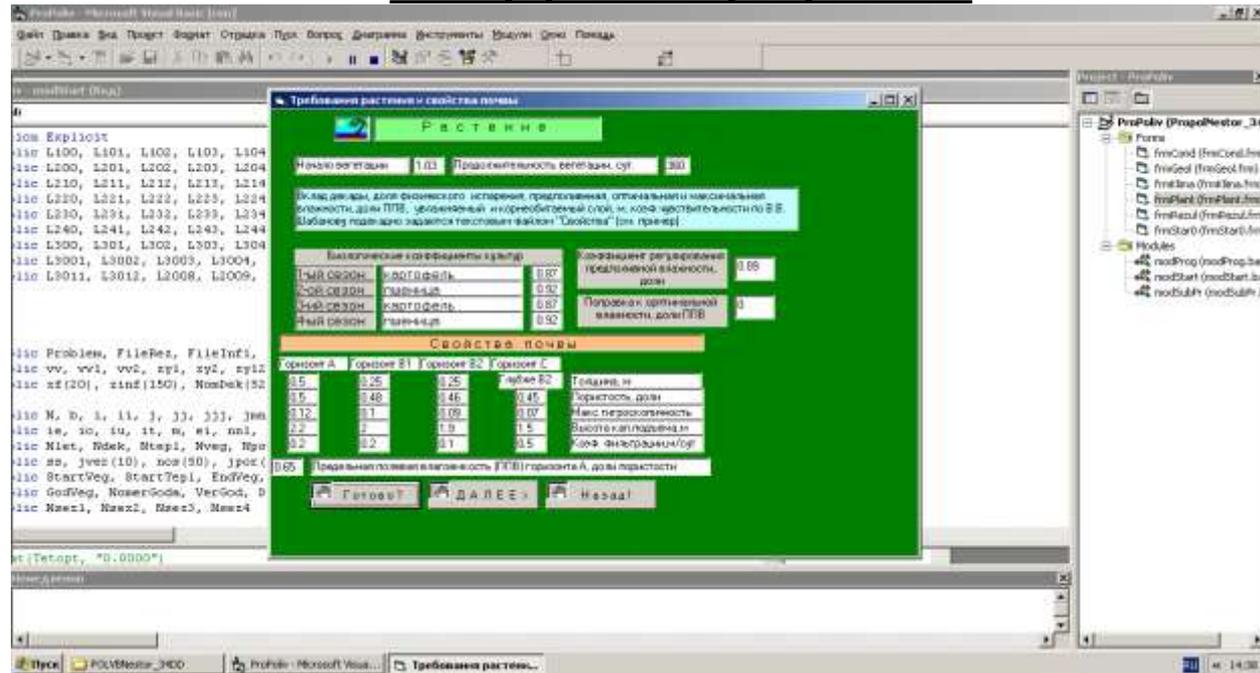
Сделаны расчеты при разных n ($n=3,4,5,6,7,8$) при расчетах с орошением и без орошения.

Всего было рассчитано 192 вариантов [4 варианта по 4 сезонам при разных n (6 разных значений) при орошении и без орошения].

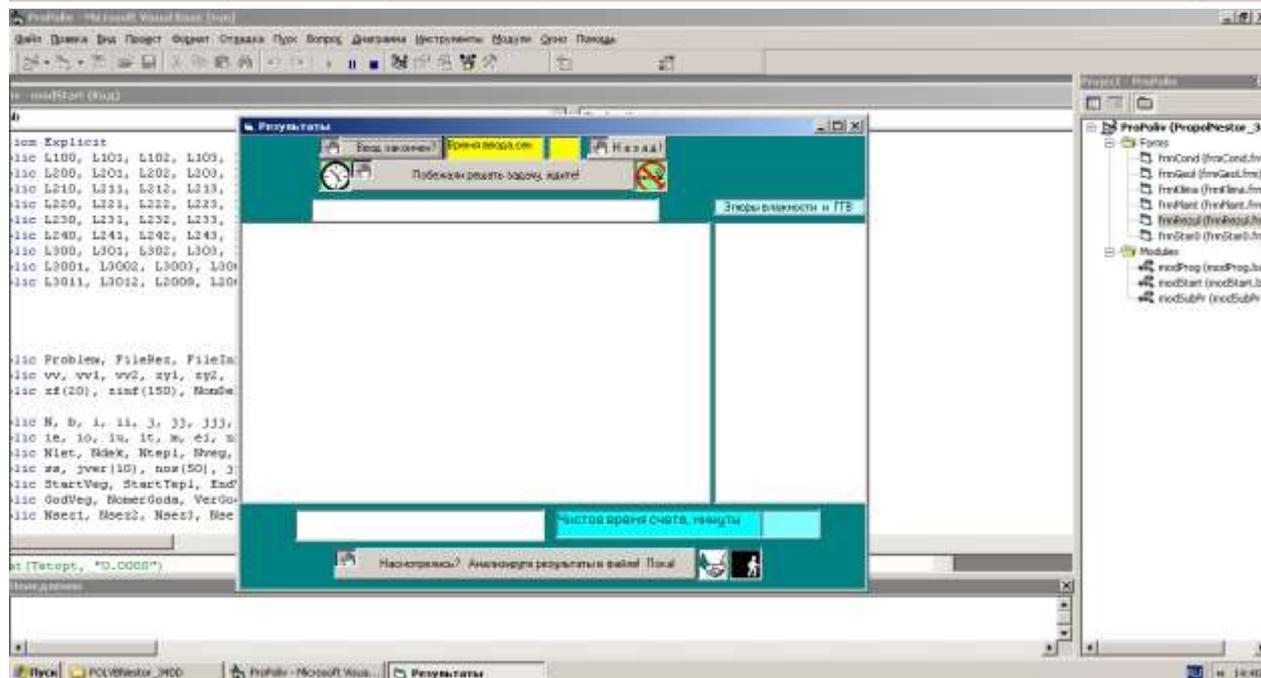
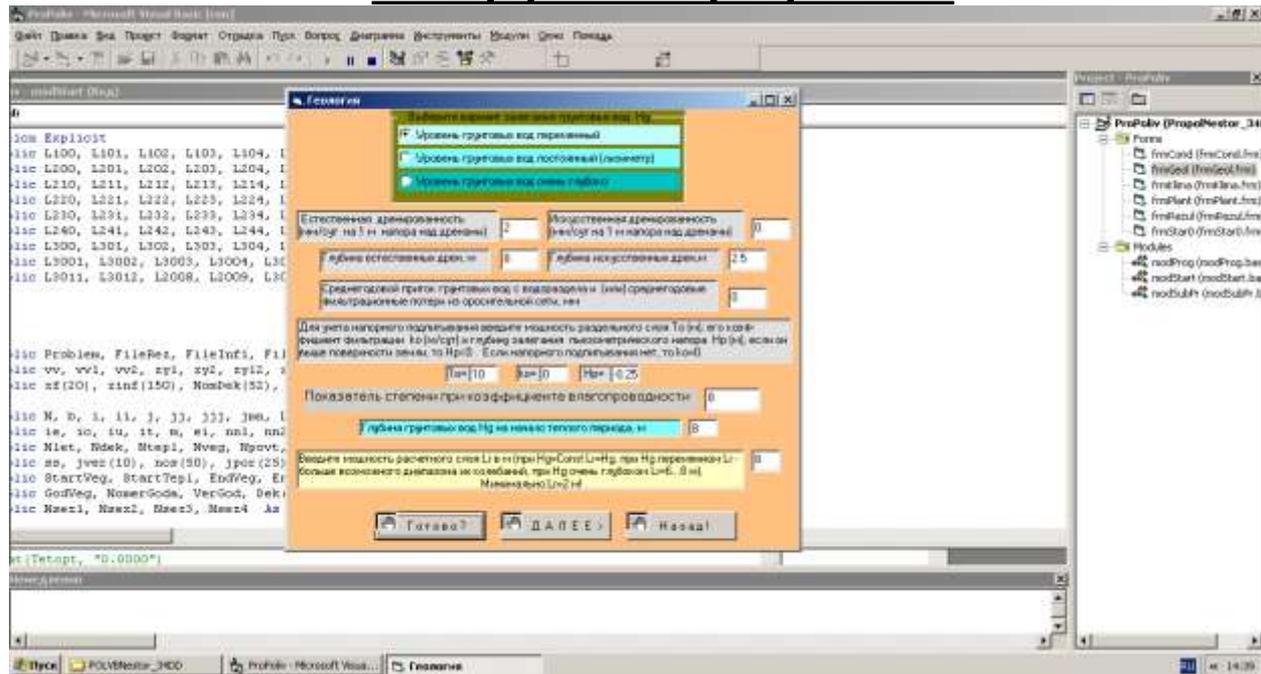
Интерфейсы программы



Интерфейсы программы



Интерфейсы программы



Матрицы влагозапасов с орошением, диапазон градации 40 мм

	0.1-40	40.1-80	80.1-120	120.1-160	160.1-200
0.1-40	25 0.52	23 0.48			
40.1-80	27 0.15	97 0.52	48 0.26	14 0.08	
80.1-120		63 0.18	218 0.63	62 0.18	2 0.01
120.1-160			82 0.54	64 0.42	5 0.03
160.1-200				5 1.00	

Матрицы влагозапасов во время сухого сезона (июнь - август)

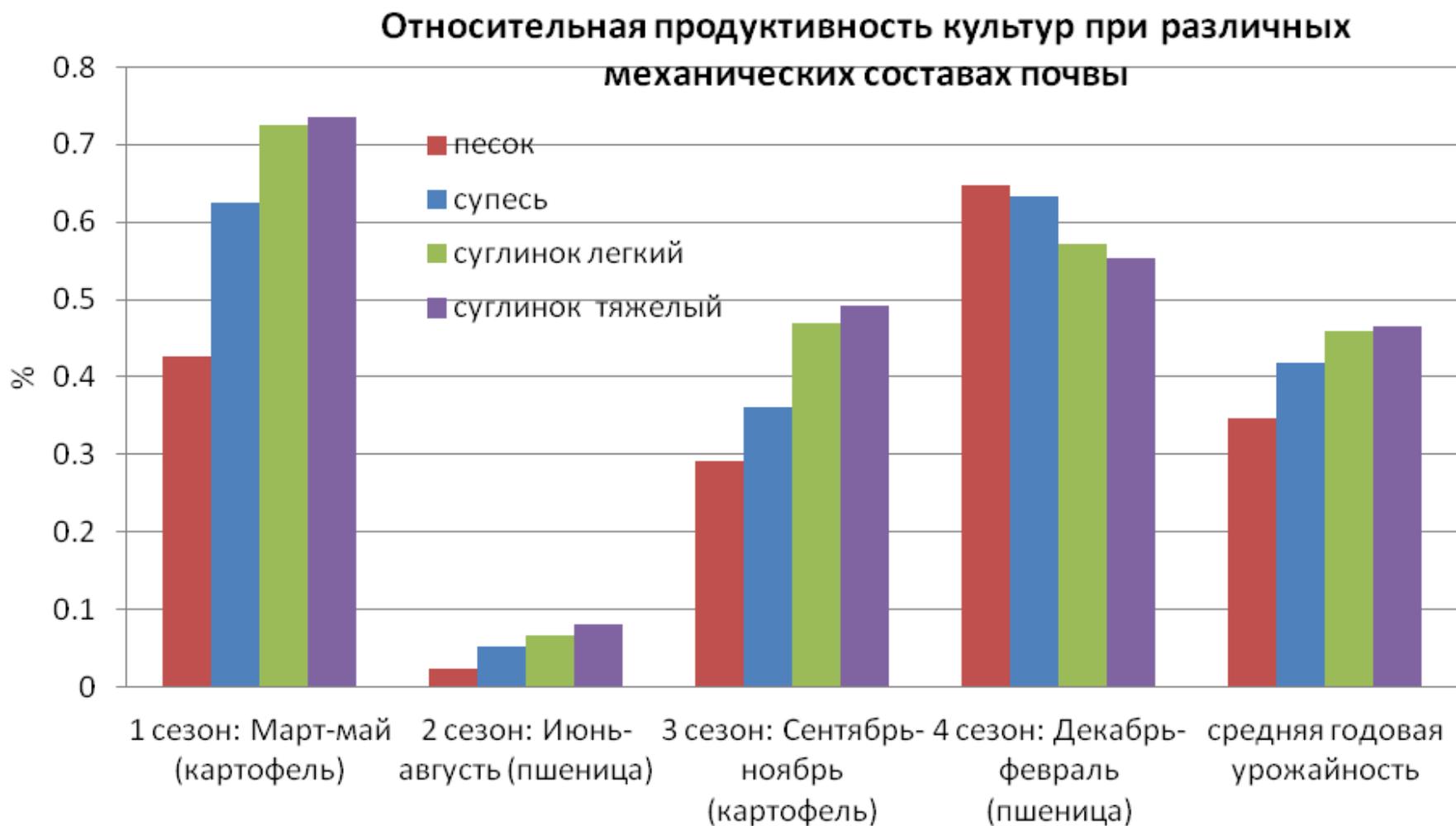
	40.1-60	60.1-80	80.1-100	100.1-120	120.1-140
40.1-60	12 0.63	7 0.37			
60.1-80	11 0.26	22 0.51	9 0.21	1 0.02	
80.1-100	8 0.10	14 0.18	54 0.69	2 0.03	
100.1-120		8 0.31	3 0.12	15 0.58	
120.1-140		2 1.00			

Матрицы атмосферных влагозапасов во время влажного сезона (декабрь - февраль)

	45.1-65	65.1-85	85.1-105	105.1-125	125.1-145	145.1-165
45.1-65	2 0.25	3 0.38	1 0.13	1 0.13	1 0.13	
65.1-85	11 0.34	6 0.19	11 0.34	4 0.13		
85.1-105	1 0.02	15 0.26	18 0.32	11 0.19	8 0.14	4 0.07
105.1-125		8 0.22	13 0.35	14 0.38	1 0.03	1 0.03
125.1-145		1 0.04	8 0.31	4 0.15	12 0.46	1 0.04
145.1-165			1 0.13	2 0.25	5 0.63	

Результаты исследования

Расчет урожайности культур без орошения в зависимость от механического состава почвы за 4 сезона выращивания культур в году: март – май (полувлажный сезон); июнь – август (сухой сезон); сентябрь – ноябрь (полусухой сезон); декабрь – февраль (влажный сезон).



Результаты исследования

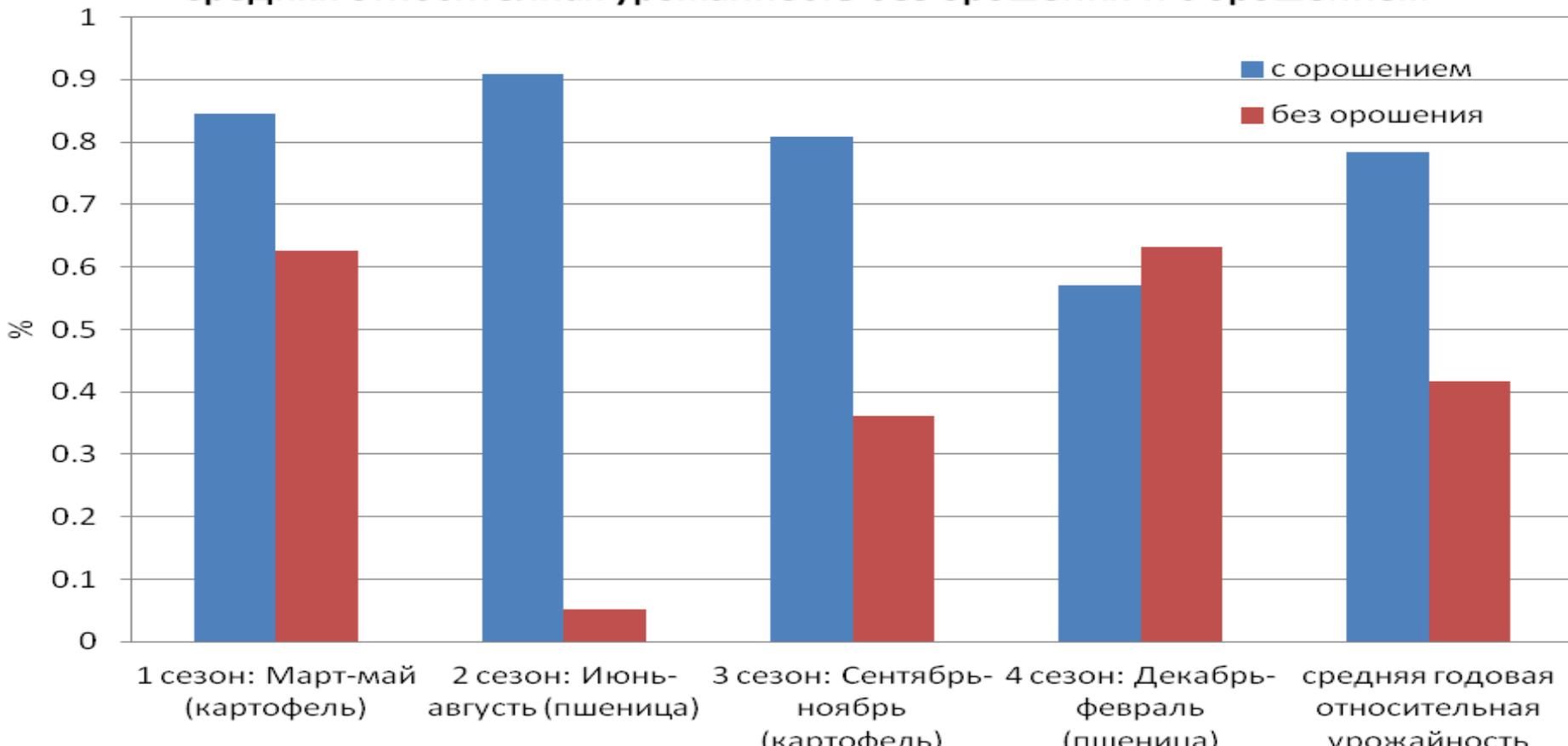
Изменение влагозапасов (без и с орошением) во времени при выращивании картофеля – пшеница – картофель – пшеница показано на этом рисунке.



Результаты исследования

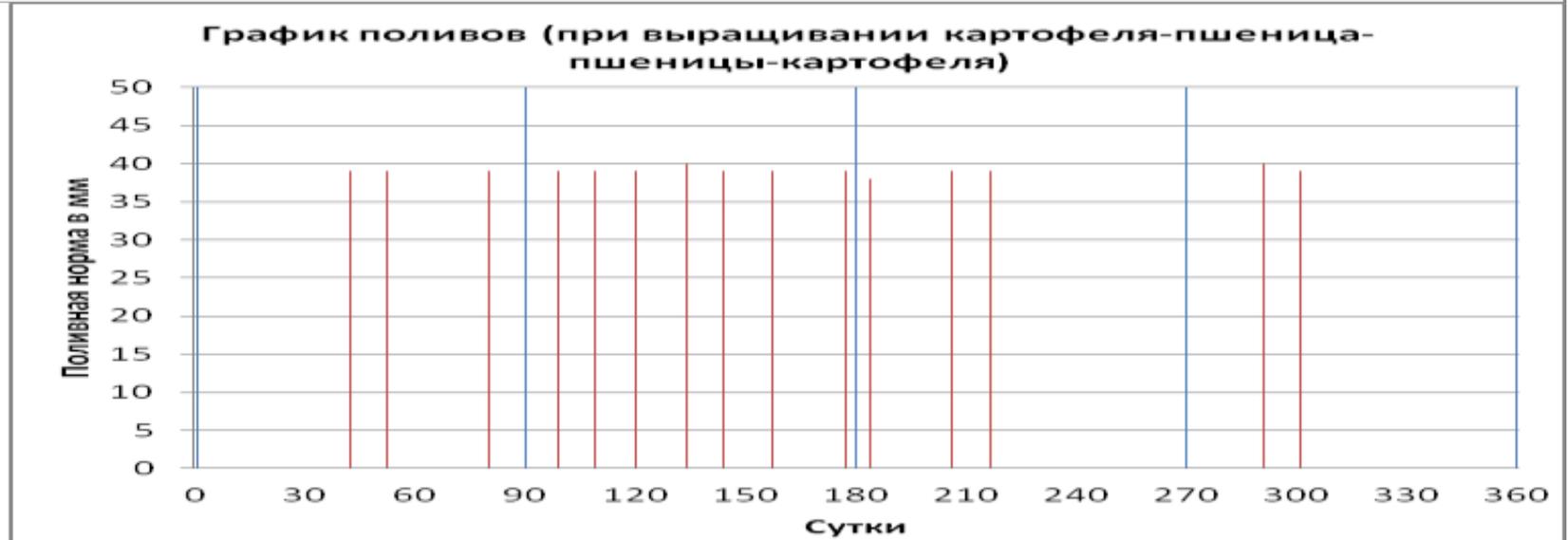
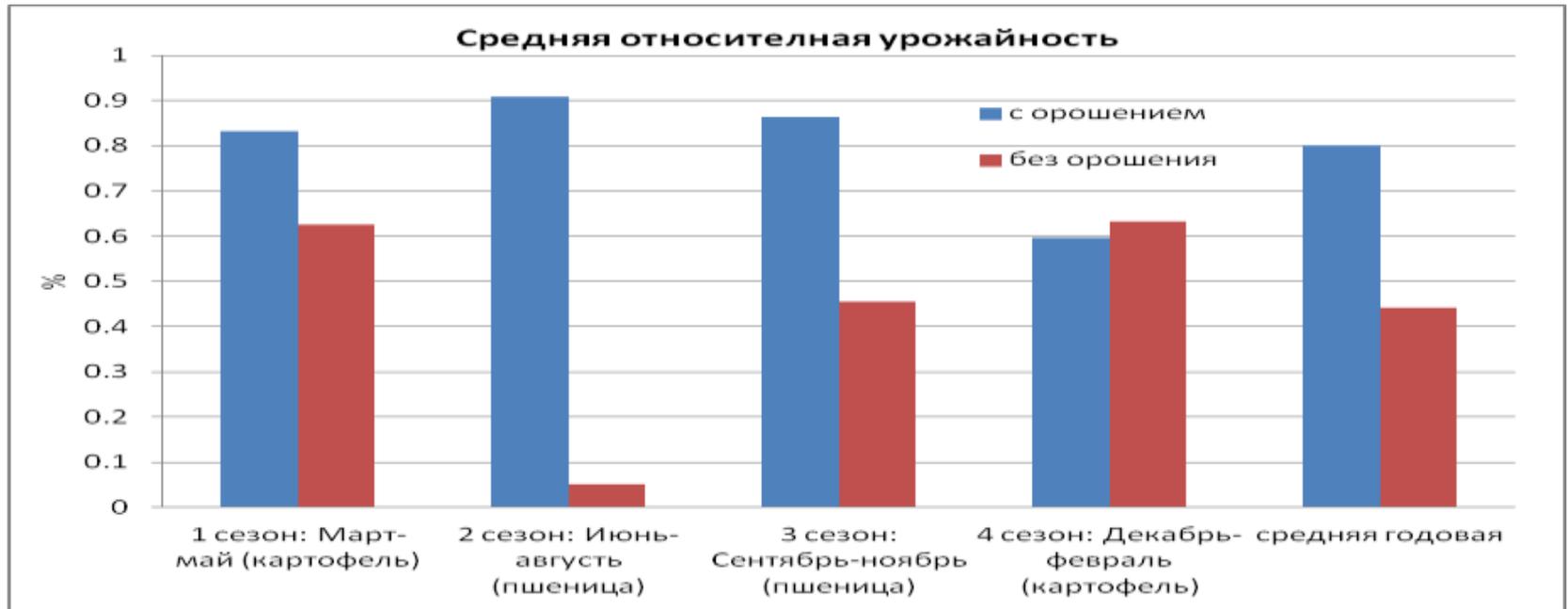
Относительная продуктивность (без и с орошением) за 4 сезона [март – май (полувлажный сезон); июнь – август (сухой сезон); сентябрь – ноябрь (полусухой сезон); декабрь – февраль (влажный сезон).] показана на данном рисунке. В первый сезон эффективность орошения (относительная прибавка урожая) невысока (+0.2), в сухой сезон наибольшая (почти +0.6). В 4-й (влажный сезон) эффективность отрицательная (-0.1). Средняя годовая эффективность около 0.3.

Средняя относительная урожайность без орошения и с орошением



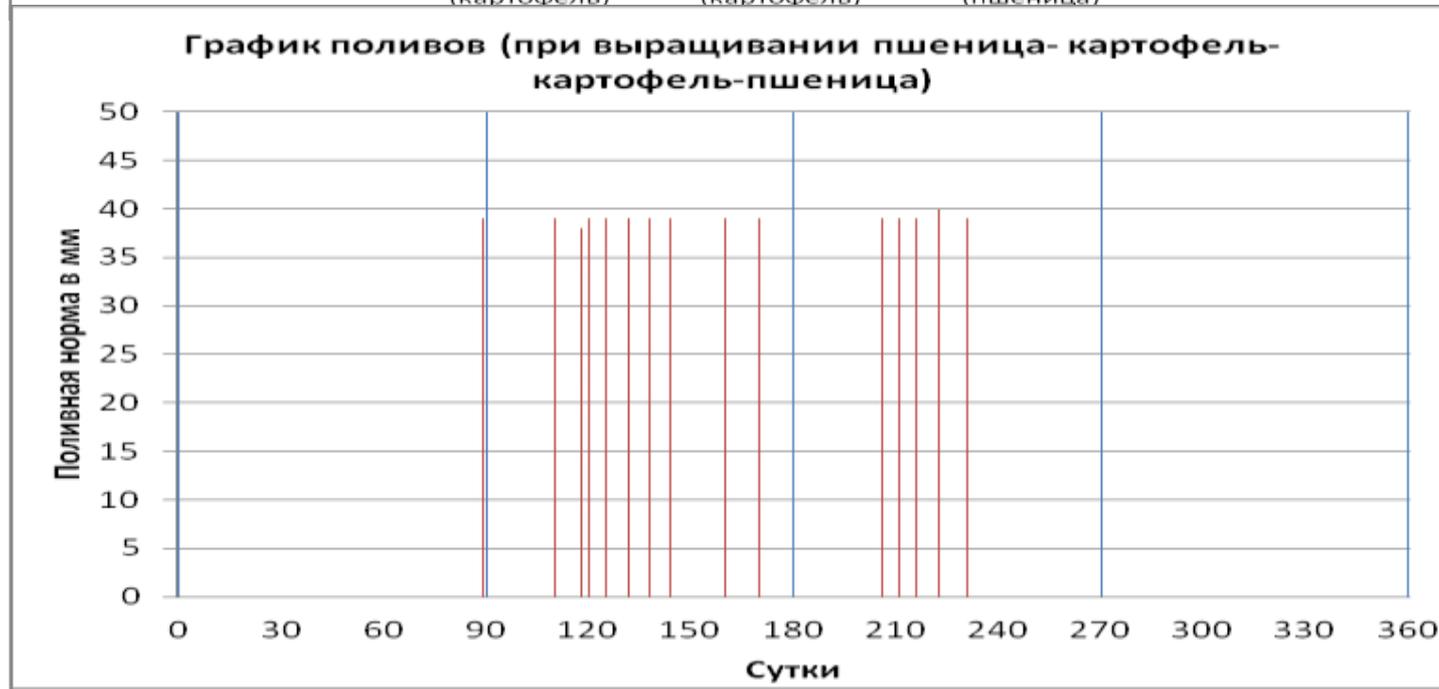
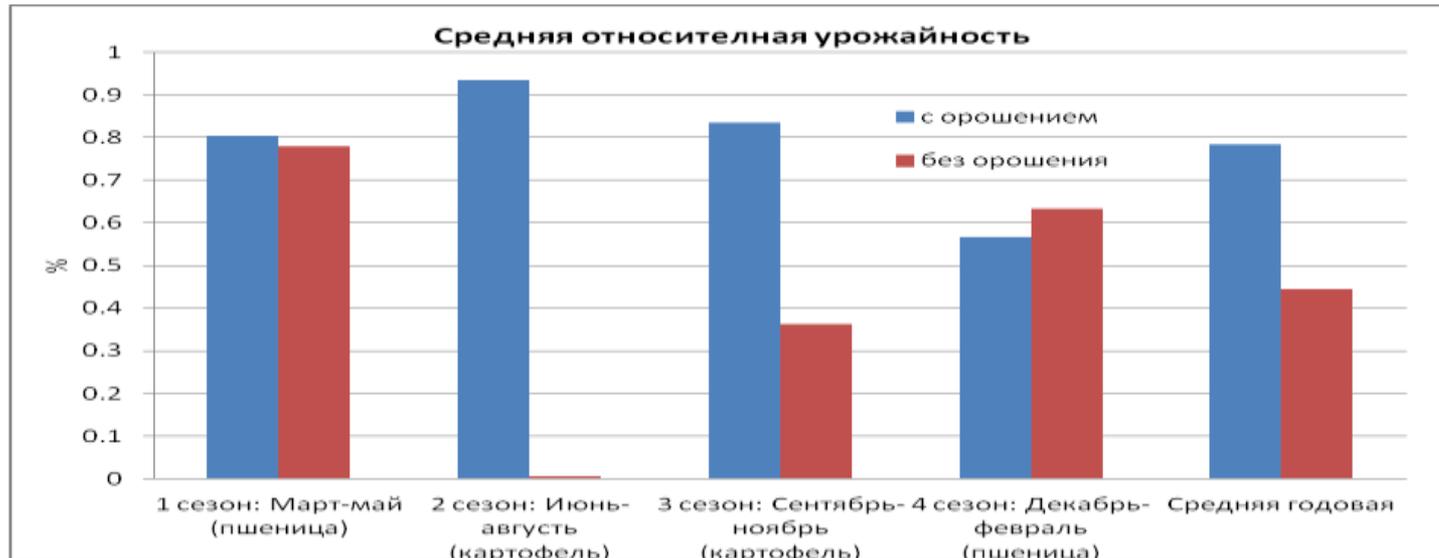
Результаты исследования

Результаты при выращивании картофель – пшеница – пшеница – картофель.



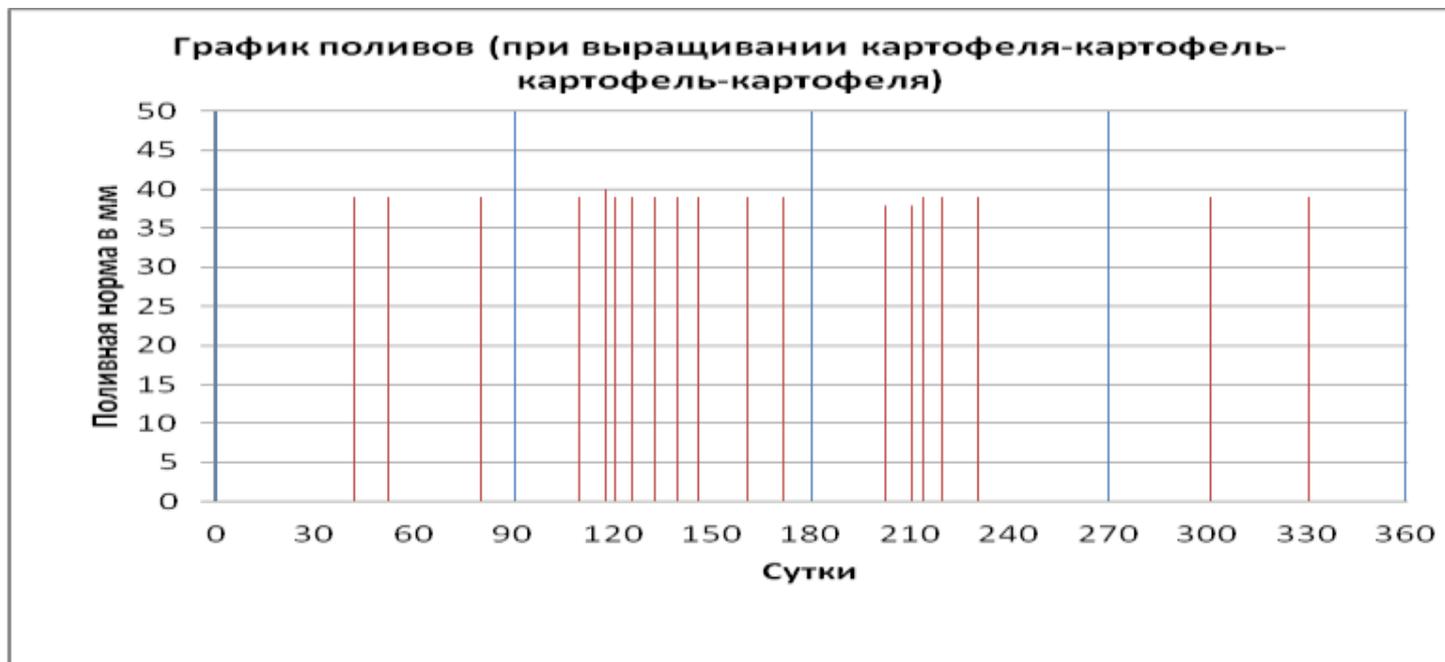
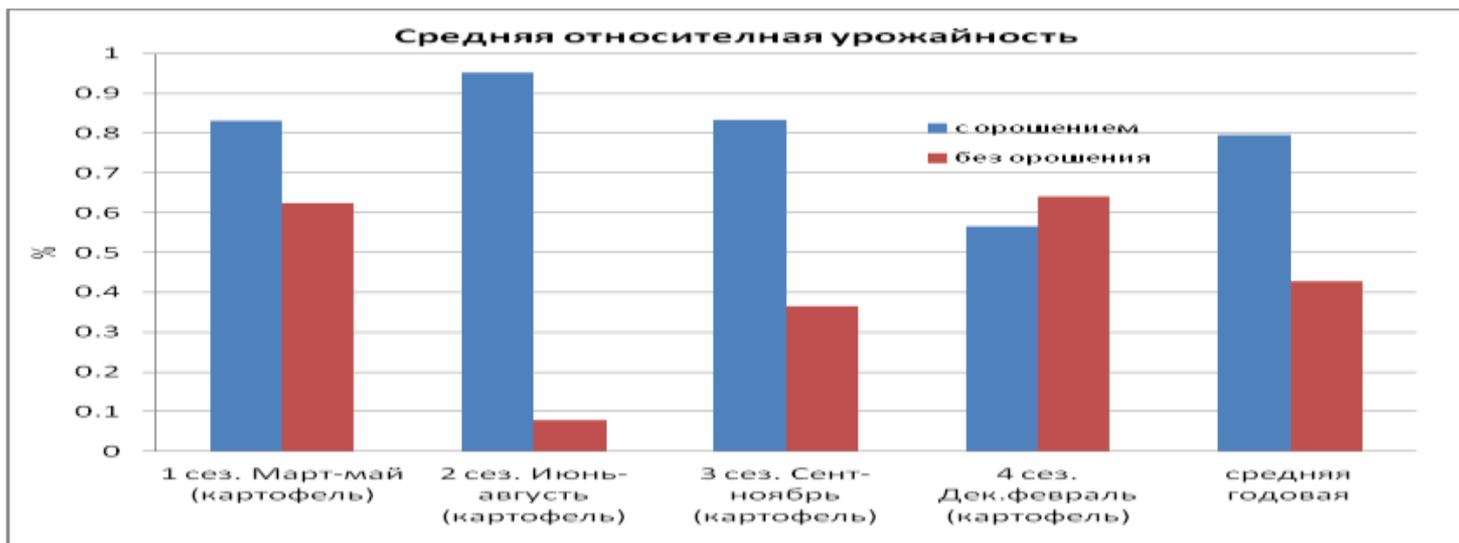
Результаты исследования

Результаты при выращивании пшеница – картофель – картофель- пшеница.



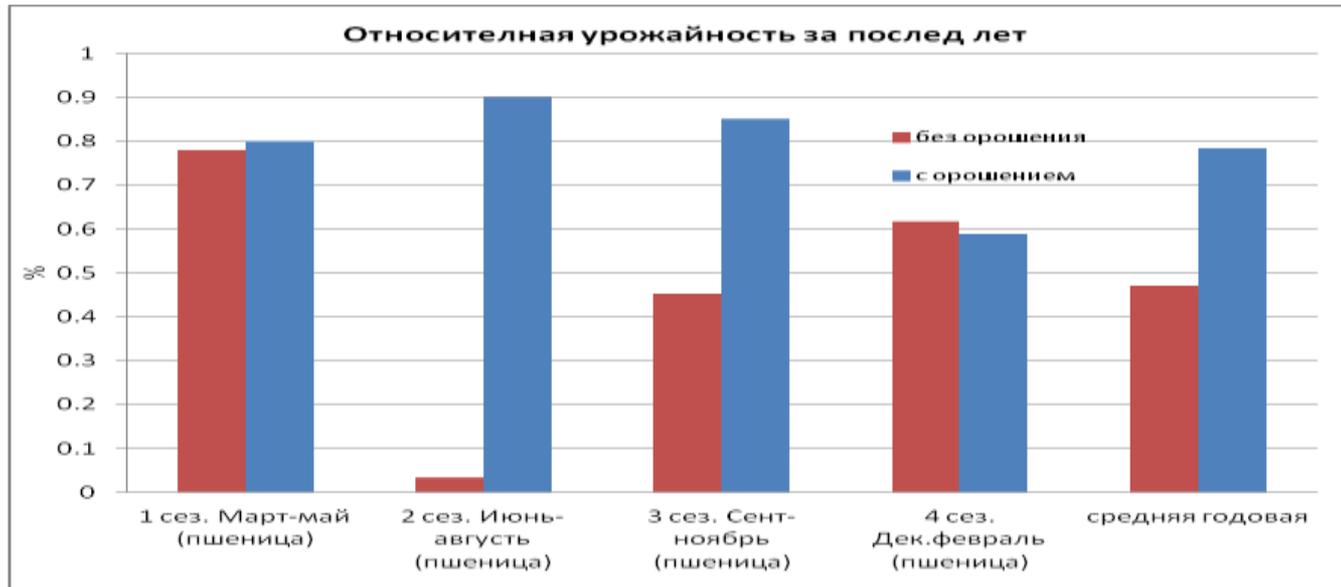
Результаты исследования

Результаты при выращивании картофель – картофель – картофель - картофель.



Результаты исследования

Результаты при выращивании пшеница – пшеница – пшеница - пшеница.



Результаты исследования

Оросительная норма и сбросы по всем вариантами выращивания культур показаны на данной таблице.

Вариант	Культуры по сезонам	осадки	Испаряемость	Оросительная норма	сбросы с орошением	сбросы без орошения	сброс/осадки	сброс/(осадки+Орошение)
1	К.П.К.П.	858	1472	587	339	178	0.21	0.23
2	К.К.К.К.	858	1472	740	514	211	0.25	0.32
3	П.П.П.П	858	1472	506	233	155	0.18	0.17
4	К.П.П.К.	858	1472	586	349	199	0.23	0.24
5	П.К.К.П.	858	1472	624	361	168	0.20	0.24
	Средн	858	1472	608.6	359.2	182.2	0.21	0.24

К= картофель, П= пшеница

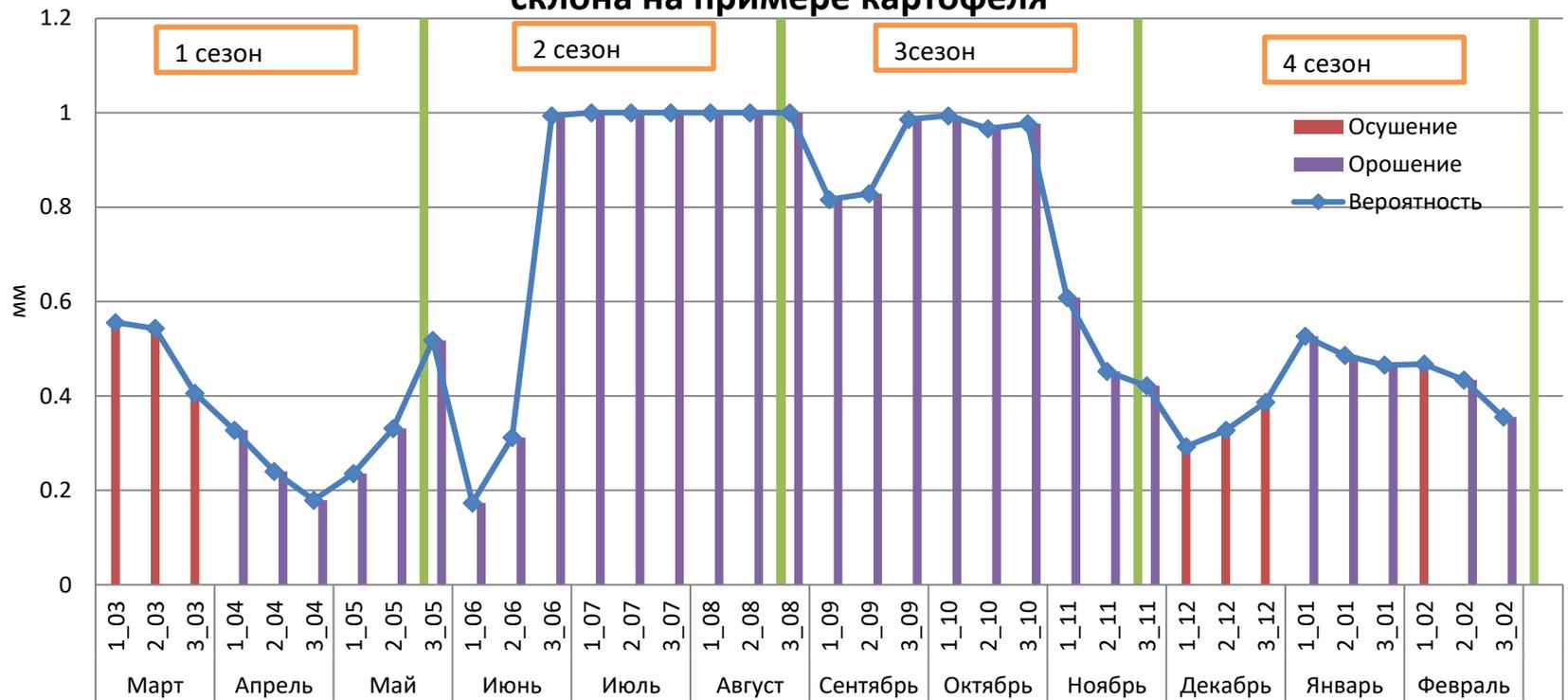
Выводы результатов исследования

На основании расчетов можно сделать следующие выводы:

1. без орошения относительная средняя годовая урожайность: $Y_{\text{отн.мах}}=0,47$, $Y_{\text{отн.мин}}=0,42$ разница небольшая и равна: $\Delta Y=0,05$;
2. с орошением, относительная средняя годовая урожайность во всех вариантах получается в 2 раза больше чем без орошения;
3. с орошением в сухой сезон относительная урожайность получается в среднем для всех вариантов в 18 раза больше чем без орошения [$Y_{\text{отн.мах}} = 0,91-0,95$];
4. с орошением среднегодовая относительная урожайность во всех вариантах практически постоянно и равна 0,8; это еще раз подтверждает адекватность работы программы «Влагообеспеченность и продуктивность», т.к. теоретически оптимальный диапазон «настраивался» на относительную продуктивность равную 0.8;
5. максимальная оросительная норма получается при выращивании во все сезоны картофеля («влаголюбивая» культура) и она равна $M=740\text{мм}$. А минимальная оросительная норма при выращивании во всех сезонах одной пшеницы: $M=506\text{мм}$.
6. при выращивании разных культур в году, минимальная оросительная норма наблюдается при ротации картофель – пшеница – картофель – пшеница. Тогда оросительная норма составляет 587мм.

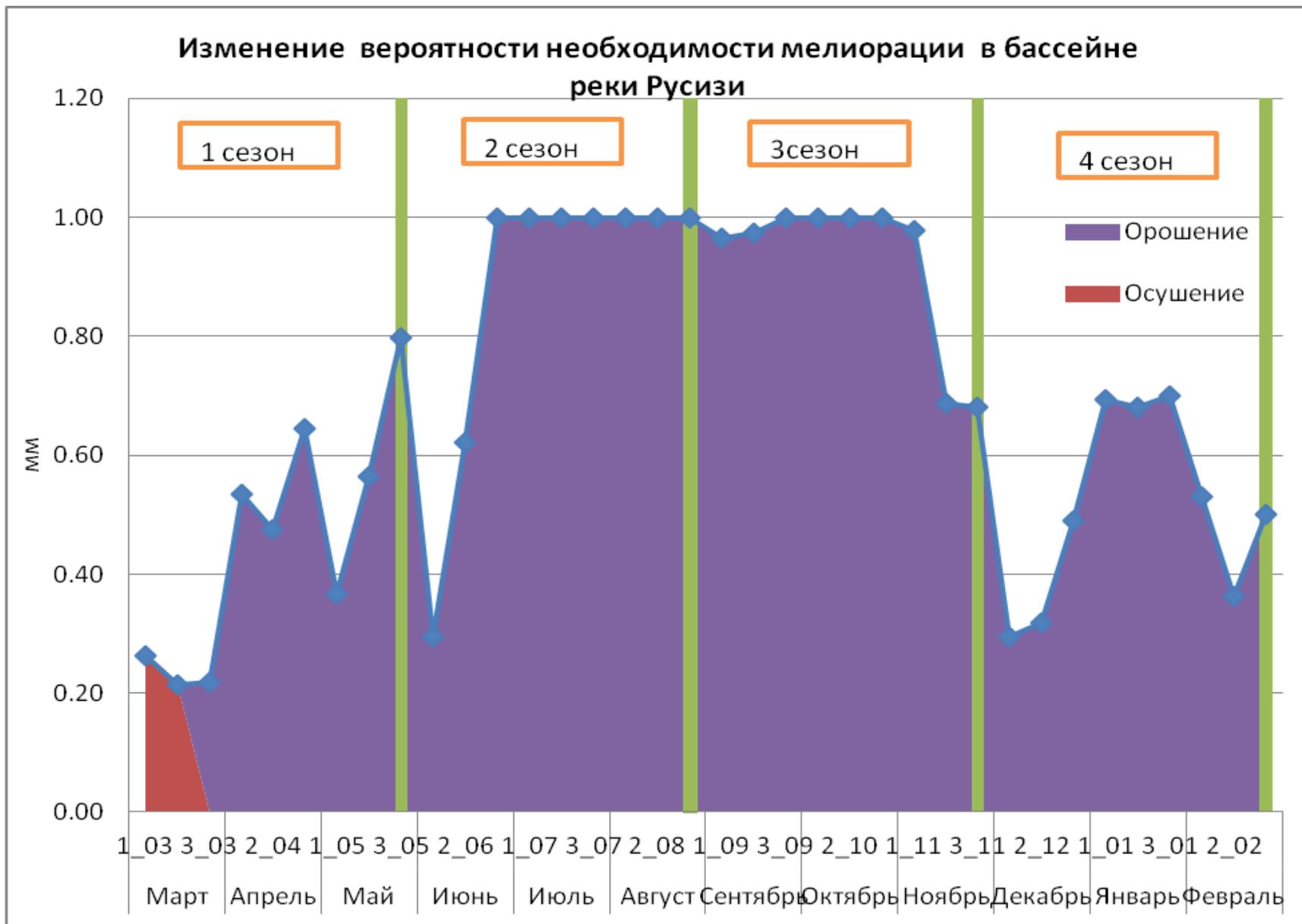
Обоснование необходимости водной мелиорации.

Изменение вероятности необходимости мелиорации на подножья склона на примере картофеля

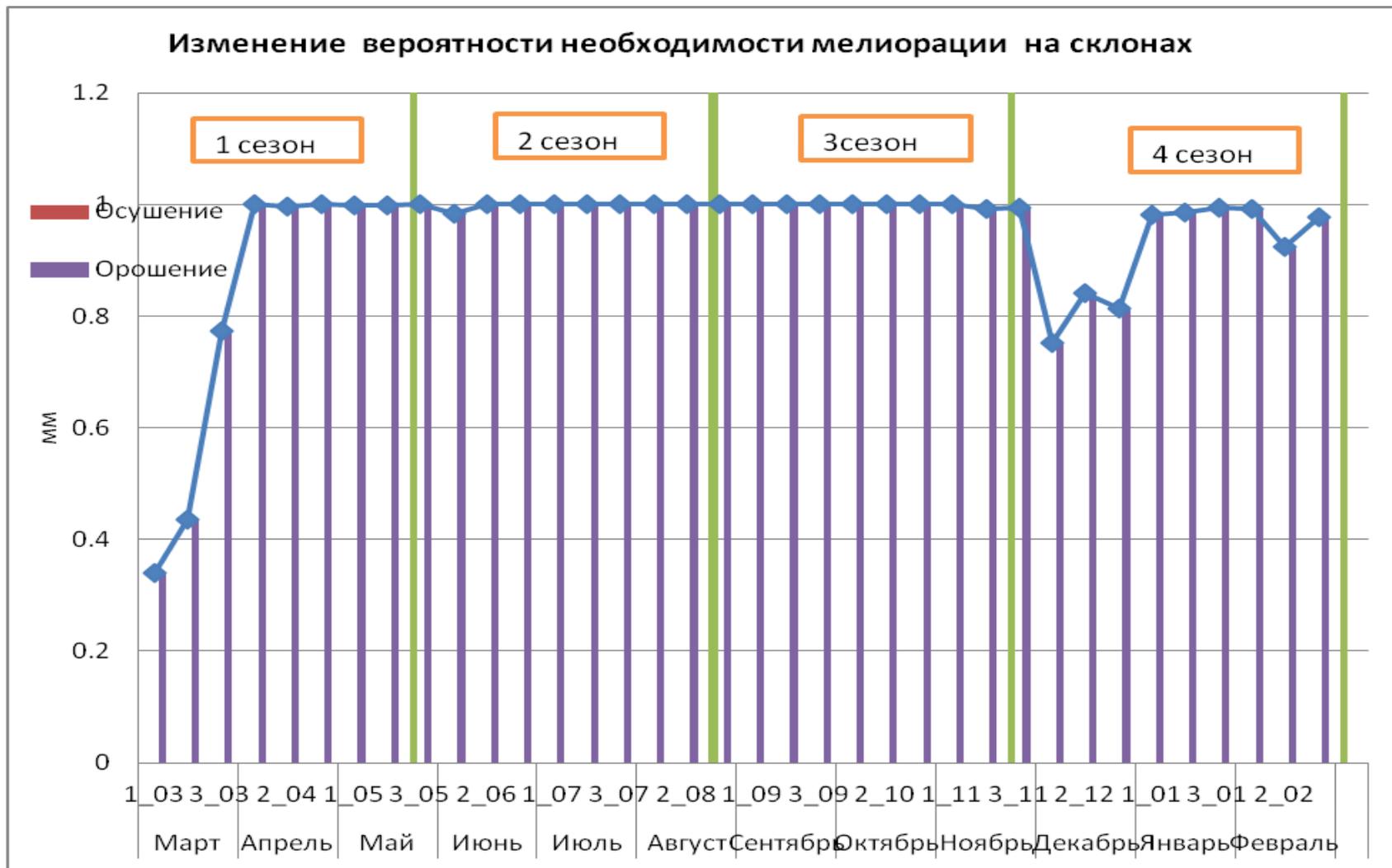


- В сухой сезон, вероятности необходимости орошения практически равно 1
- Во время влажного сезона, иногда необходимо осушение
- Во время влажного сезона также иногда требует орошения связи с неравномерности выпадения осадков (иногда 1 раз в неделю). Это показывает достоинство использованного инструмента, который учитывает суточную неравномерность атмосферных осадков.

Изменение вероятности необходимости водной мелиорации в бассейне реки Русизи (равнинная территория)



Изменение вероятности необходимости водной мелиорации на склонах.



Выводы

1. На склонах практически все осадки стекают из-за большого уклона, поэтому земледелие здесь возможно только при постоянном орошении. Здесь нужны мероприятия по уменьшению стока, например, террасное земледелие.

2. В пойме бассейна реки Русизи требуется осушение не только в начале влажного сезона (в марте месяца), но и осушение в остальные периоды.

3. На первой надпойменной террасе (при относительно глубоком уровне грунтовых вод h более 2 м), оптимальные условия создаются в первый период, но орошение и в это время может дать определенную прибавку (0.3-0.4), во второй период без орошения относительная продуктивность близка к нулю, в остальные периоды эффективность орошения должна определяться экономической целесообразностью.

4. У подножья склона, благодаря накоплению воды во влажные сезоны условия более благоприятные, здесь возможно переувлажнение в отдельные декады.

5. Суточная неравномерность выпадения атмосферных осадков влияет на режим орошения и требует орошения даже во время влажного сезона.

- 6. В целом развитие мелиорации в Бурунди необходимо и эффективно.
- 7. «Вычислительная система обоснования необходимости и эффективности мелиорации» достаточно адекватно описывает природные процессы, происходящие в системе атмосфера-почва-растение и может быть рекомендована в качестве инструмента для лиц принимающих решения (ЛПР) на проектных стадия «Обосновывающие материалы» и ТЭО.

Работы опубликованные по результатам исследований

1. Шабанов В.В. Нийонзима Н. Оценка изменения факторов внешней среды в бассейне реки Русизи на территории республики Бурунди// Природообустройство. -2012. -№3. –С. 30-35. –ISSN 1997-6011.
2. Шабанов В.В. Нийонзима Н.Бедность в богатой природе. // ВИНИТИ. - №309-В2012 от 16.07.2012. 18с .
3. Шабанов В.В. Нийонзима Н. Глобальная продовольственная проблема и пути ее решения для стран Центральной Африки на примере Бурунди. // ВИНИТИ. -№310-В2012 от 16.07.2012. 15с.
4. Шабанов В.В. Нийонзима Н. Возможное изменение климата и сельское хозяйство республики Бурунди. // ВИНИТИ. -№313-В2012 от 20.07.2012. 64с
5. Шабанов В.В. Нийонзима Н. Проблема производства продовольствия в Бурунди. История и возможности решения. // Материалы международной конференции «Роль мелиорации водного хозяйства в инновационном развитии АПК». Часть II «Мелиорация и рекультивация земель». -2012 . –С. 305-315.
6. Голованов А.И., Шабанов В.В., Нийонзима Н. // Водный режим почв бассейна реки Русизи и продуктивность сельскохозяйственных культур (Республика Бурунди).Природообустройство. -2013. -№4. –С. 15-20. –ISSN 1997-6011.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!!