



УДК 551.5.001.57,551.583

С.Г. Сафаров, А.А. Гасаналиев
S.H. Safarov, A.A. Hasanaliyev

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И ИХ ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БУДУЩЕМ НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

RESEARCH OF SOIL MOISTURE REGIME AND ITS EXPECTED FUTURE CHANGES IN AZERBAIJAN BY MEANS OF A MATHEMATICAL MODEL

Ключевые слова: Азербайджанская республика, математическая модель, влажность почвы, изменение климата, климатические сценарии.

Keywords: Republic of Azerbaijan, mathematical model, soil moisture, climate change, climatic scenarios.

Проведено исследование по оценке влияния возможного изменения регионального климата на влажность почвы под озимыми зерновыми культурами на территории Азербайджана с помощью динамической модели продуктивности растений с суточным шагом. Основу модели составляют блок роста и развития сельскохозяйственных культур, блок процесса энерго- и массообмена растительного покрова и блок расчета влажности и температуры почвы. Модель в целом обеспечивает удовлетворительную точность расчетов динамики влагозапасов почвы и конечного урожая зерна озимой пшеницы. В качестве климатических сценариев были использованы результаты моделей общей циркуляции атмосферы **GISS** и **GFDL**. Выявлено, что в основном сильному воздействию почвенной засухи подвержены богарное земледелие.

The research goal was to evaluate the effect of possible regional climate change on soil moisture regime under winter cereal crops in Azerbaijan. The research was conducted by a dynamic model of crop productivity with one day interval. The model is based on the module of crop growth and development, the module of energy and mass exchange of vegetation cover, and the module of soil moisture and temperature calculation. In general, the model ensures a satisfactory accuracy of soil moisture dynamics calculations and the overall winter wheat yield calculations. The results obtained by the general atmospheric circulation models **GISS** and **GFDL** were used as climatic scenarios. It is revealed that mainly rainfed agriculture is greatly affected by soil droughts.

Сафаров Сурхай Гасан оглы, д.г.н., доцент, каф. гидрометеорологии, Бакинский государственный университет, Азербайджанская республика. E-mail: surxaysafarov@yandex.com.

Safarov Surhay Hasan ogly, Dr. Geo. Sci., Assoc. Prof., Chair of Hydrometeorology, Baku State University, Republic of Azerbaijan. E-mail: surxaysafarov@yandex.com.

Гасаналиев Алекпер Алиш оглы, к.с.-х.н., доцент, каф. гидрометеорологии, Бакинский государственный университет, Азербайджанская республика. E-mail: farda_imanov@mail.ru.

Hasanaliyev Alekper Alish ogly, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Hydrometeorology, Baku State University, Republic of Azerbaijan. E-mail: farda_imanov@mail.ru.

Введение

Для всестороннего развития экономики после восстановления государственной независимости Азербайджана появилась необходимость дальнейшего детального исследования климата и климатических ресурсов территории страны с целью оптимального управления сельским хозяйством страны. В этом аспекте анализ и оценка влияния возможных изменений климата на агрометеорологические условия произрастания и продуктивности

основных сельскохозяйственных культур, разработка научно обоснованных мер и рекомендаций по адаптации сельского хозяйства к этим изменениям на основе современных математических моделей являются одними из важнейших задач современной агрометеорологической науки в Азербайджане.

В Азербайджане почвенная влага является одним из важных факторов, которые ограничивают продуктивность сельскохозяйственных культур. Поэтому основной целью данного

исследования является оценка влияния возможного изменения регионального климата на влажность почвы под озимыми зерновыми культурами на территории страны с помощью динамической модели продуктивности растений. Для достижения поставленной цели была использована созданная метеорологическая и агрометеорологическая информационно-справочные базы данных, сценарии изменения климата, проведены расчеты по влиянию регионального изменения климата на влажность почвы за вегетационный период озимой пшеницы, проанализированы полученные результаты и проведены соответствующие оценки.

Объекты и методы

Объектами исследования явились сельскохозяйственные поля под озимыми зерновыми культурами, которые находятся в различных почвенно-климатических зонах. Методом исследования является разработанная нами математическая модель. Она имеет прикладную направленность, возможность расширения конструкции модели, эффективность используемых алгоритмов и надежность программ. При разработке модели растение отождествляется с «листом», а ее корни имеют вертикальное распределение по глубине (до глубины 150 см) [1]. Продуктивность зерновых культур определяется интенсивностью ростовых процессов и их развитием в различных метеословиях.

В этой модели блок роста и развития сельскохозяйственных культур представлен системой обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамику отдельных органов и продуктивности растений.

Блок процесса энерго- и массообмена растительного покрова представлен системой уравнений, описывающих тепловой баланс растительного покрова и поверхности почвы, а также водный баланс агроценоза [1].

Блок процесса энерго- и массообмена в почве представлен уравнениями теплопроводности (1) и влагопроводности (2) почвы. Они нестационарные. Решение их находится численно. Шаг по времени 3 ч [1]:

$$\frac{\partial(C_s T_s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \right) - d^T, \quad (1)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial(\psi + z)}{\partial z} \right) + d, \quad (2)$$

где T_s – температура почвы на рассматриваемой глубине;

C_s – теплоемкость почвы;

λ_s – коэффициент объемной теплопроводности почвы;

d^T – источник-стоковый член, учитывающий влияние влажности почвы на ее температуру;

W – запасы влаги почвенного слоя;

K – коэффициент влагопроводности почвы;

Ψ – потенциал почвенной влаги, см;

d – источник-стоковый член, $d = -g - \varepsilon + R$;

g – расход влаги на транспирацию из уровня z ;

ε – интенсивность испарения из испаряющего слоя почвы;

R – суточная сумма осадков.

Экспериментальная часть состоит из: **метеорологической информации** (суточные данные по температуре воздуха, относительной влажности воздуха, скорости ветра, облачности и количества атмосферных осадков за 1961-1997 гг. Вся эта информация взята из метеорологического банка данных, созданные нами [2]); **агрометеорологической информации** (даты и месяцы основных фаз развития зерновых культур суммы активных температур: всходы-цветение и цветение-восковая спелость, даты и нормы полива [3]); **агрогидрологической информации** (данные по полной влагоемкости, наименьшей влагоемкости, влажности устойчивого завядания, максимальной гигроскопичности, плотности почвы и типа почвы [3, 4]); **основной теплофизической информации** (данные о плотности почвы, удельной теплоемкости почвенного скелета и типа почвы, на основе которого выбирается ряд параметров уравнения теплопроводности почвы [5]); **массивов констант**, характеризующих биологические особенности озимых зерновых культур; **географической широты пункта**, для которого производится расчет (используется при вычислении составляющих радиационного баланса растительного покрова и поверхности почвы); **характеристик начального состояния почвы и посева** (запасы общей влаги и температуры почвы по 10-сантиметровым почвенным слоям и начальные массы листьев и корней на начало счета).

Результаты и их обсуждения

Для проверки адекватности модели использовались данные о запасах почвенной влаги до глубины 0-100 см и урожайность на полях с озимыми зерновыми культурами. В общем случае использованы данные 101 годо-станций как орошаемых, так и богарных полей. Оценка полученных результатов осуществлялась постанционно, с анализом данных запасов общей влаги и урожайности. В качестве примера приведены результаты расчетов влажности почвы и урожая озимого ячменя в районе Гянджа, который находится на западе республики (рис. 1, 2, табл. 1).

Эти и другие данные показывают, что модель в целом обеспечивает удовлетворительную точность расчетов динамики влагозапа-

сов почвы и конечного урожая зерна озимой пшеницы, и ее можно использовать для решения поставленных задач.

Современное состояние климата характеризуется данными за 1961-1990 гг. Затем за каждый год рассчитываются соответствующие значения исследуемого параметра. Далее проводится осреднение полученных значений, и таким образом определяется климатическая норма. После этого аналогичные расчеты выполняются при условии, что в каждом конкретном году на векторы метеорологических элементов накладывается вектор детерминированного возмущения. Полученные результаты осредняются и сравниваются с данными, вычисленными при современном состоянии климата.

В качестве климатических сценариев были использованы результаты моделей общей циркуляции атмосферы **GISS** и **GFDL**.

Диапазон ожидаемых изменений климата на территории Азербайджана характеризуется следующими сценариями, которые охватывают различные периоды: 1) сценарий **GISS** – для периода, когда концентрация **CO₂** увеличится в два раза; 2) сценарий **GFDL-3** – для периода, когда концентрация **CO₂** увеличится в два раза; 3) сценарий **GFDL-T** – для периода, охватывающего 2030-2040 гг.; 4) искусственный сценарий – увеличение температуры воздуха составит 2⁰С. Для различных зон страны по сценарию **GISS** изменение температуры воздуха в разных месяцах будет варьировать в пределах 3,1-5,9⁰С, а количество осадков за расчетный период будет меньше нормы примерно на 20%. По сценарию **GFDL-3** изменение температуры воздуха

в разных месяцах будет варьировать в пределах 2,3-6,1⁰С, а количество осадков будет ближе к норме.

При проведении соответствующих исследований приоритетными можно считать влияние ежегодных рисков, вызываемых такими климатическими явлениями, как засухи, заморозки, морозы, полегание посевов и др. Воздействие именно этих относительно редких явлений на урожай сельскохозяйственных культур обуславливает тот финансовый, социальный и экономический стресс, размеры которого играют существенную роль в определении способности сельского хозяйства к «выживанию» в условиях климатических изменений [6].

При исследовании влияния ожидаемых изменений климата на влажность почвы рассматривались почвенные засухи. Критериями почвенной засухи являются: 1) снижение запасов продуктивной влаги в слое 0-20 см ниже 9 мм характеризует наступление сильной засухи; 2) снижение запасов продуктивной влаги в слое 0-100 см ниже 90 мм характеризует наступление почвенной засухи, в результате чего урожайность может снижаться на 70-80% от среднего для данного района [7, 8]. В наших расчетах рассмотрены три варианта. В расчетах в каждом году определено количество дней с продуктивной влагой по вышеуказанным критериям за межфазный период цветение-молочная спелость. Далее в каждой станции выбрана повторяемость лет больше 30 дней, когда запасы продуктивной влаги соответствовали вышеуказанным критериям засухи. Результаты приведены в таблице 2 и рисунке 3.

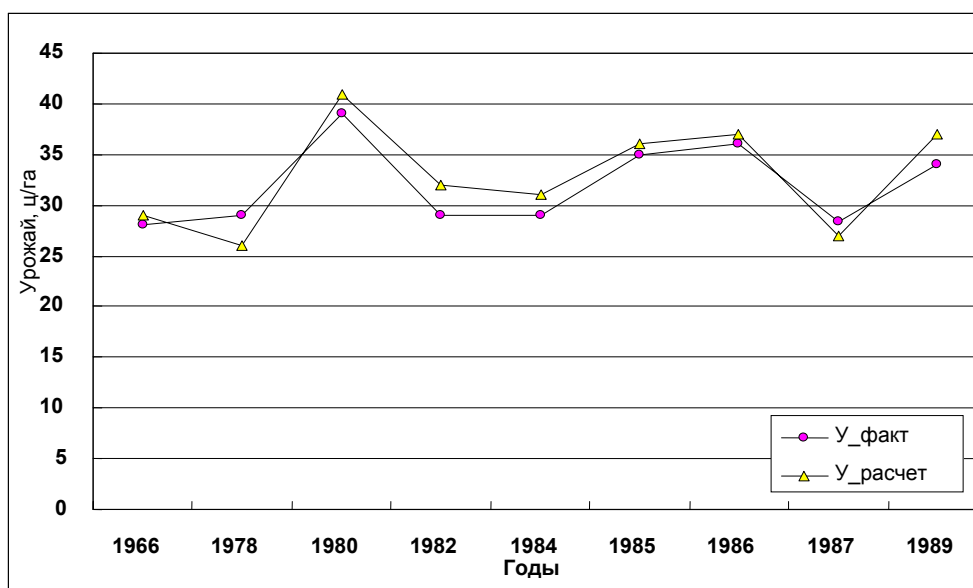


Рис. 1. Динамика фактических (**Y-факт**) и рассчитанных (**Y-расчет**) значений урожая озимого ячменя в Гяндже

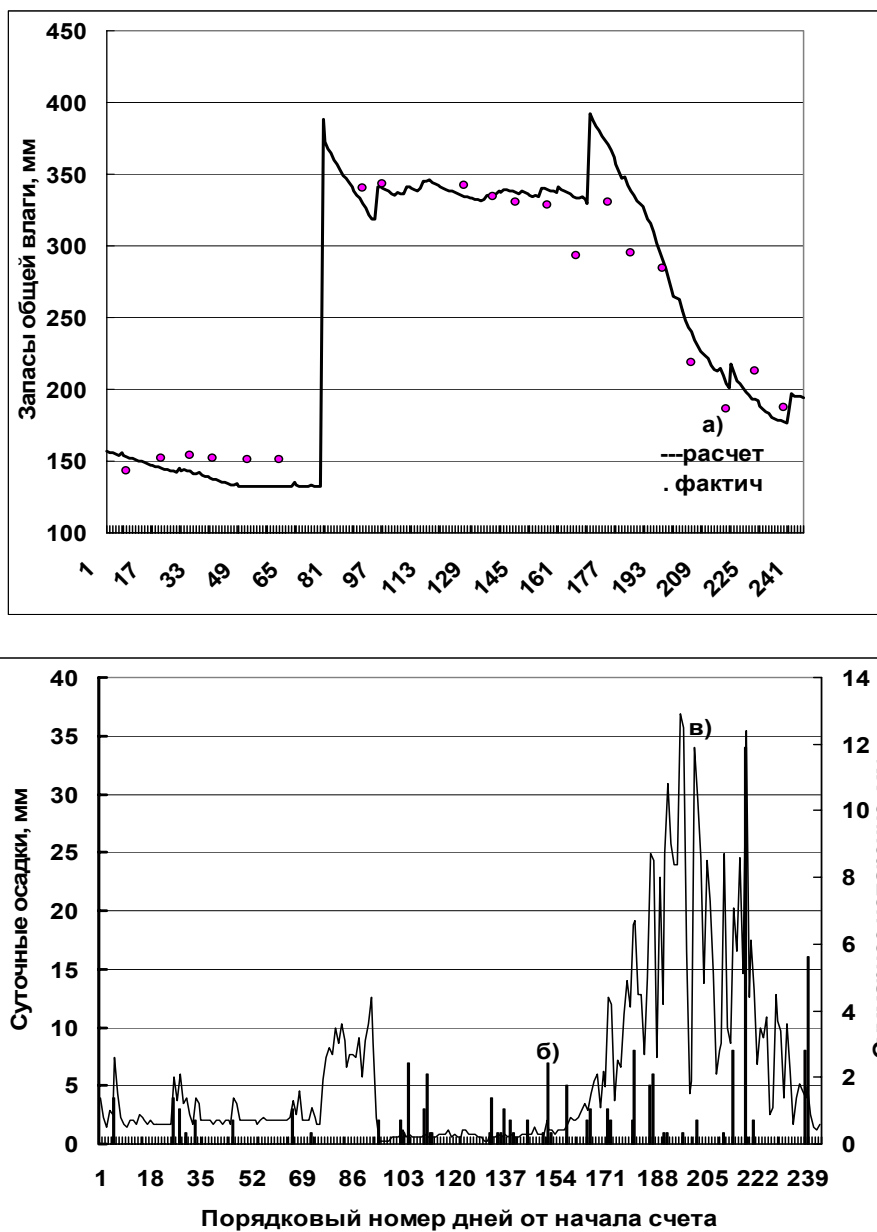


Рис. 2. Суточная динамика запасов общей влаги в слое 0-100 см (а), количества осадков (б) и суммарного испарения (в) под озимым ячменем в 1984 г. в Гяндже

Таблица 1

Статистические характеристики фактических и рассчитанных значений влажности почвы по почвенным слоям под озимой пшеницей на ст. Гянджа

Годы	Слой почвы, см	N, дни	W_{FC} , мм	W_{RC} , мм	S_F , мм	$S_{O,}$ %	S_a , мм	R_k
1982	0-20	232	57	57	5	7	4	0,76
	0-50		144	140	9	5	8	0,75
	0-100		286	274	16	5	3	0,86
1983	0-20	250	57	59	5	8	5	0,94
	0-50		144	145	8	6	8	0,97
	0-100		279	286	18	6	16	0,95
1984	0-20	243	53	51	5	9	4	0,97
	0-50		129	127	11	7	9	0,97
	0-100		246	250	20	7	16	0,98
1985	0-20	228	59	58	3	5	3	0,99
	0-50		145	142	7	4	6	0,99
	0-100		279	282	17	5	5	0,97

Повторяемость числа лет с запасами продуктивной влаги ниже критических значений запасов продуктивной влаги в различных почвенных слоях по норме и моделям GISS и GFDL-3

Станция	Слой 0-20 см			Слой 0-100 см			Слой 20-100 см		
	норма	GISS	GFDL-3	норма	GISS	GFDL-3	норма	GISS	GFDL-3
Хачмас	10	2	2	3	4	2	1	4	1
Мараза	3	0	0	24	17	21	21	14	15
Закатала	0	0	0	13	0	8	7	0	6
Огуз	11	4	5	18	11	11	18	10	8
Гейтепе	20	3	6	22	12	19	22	12	18
Биласувар	2	2	1	12	10	9	3	2	2
Джафархан	11	2	3	14	6	4	12	2	3
Кюрдамир	0	0	0	6	1	0	4	0	0
Геокчай	0	0	0	11	6	8	10	6	8
Гянджа	15	5	10	21	9	15	15	7	10
Тер-Тер	18	17	18	20	22	22	19	21	21
Ханкенди	7	1	0	15	10	11	15	10	12
Физули	11	1	2	24	21	23	3	2	4
Нахчыван	8	6	7	13	11	14	10	9	13
Шарур	14	1	3	17	6	6	14	4	5

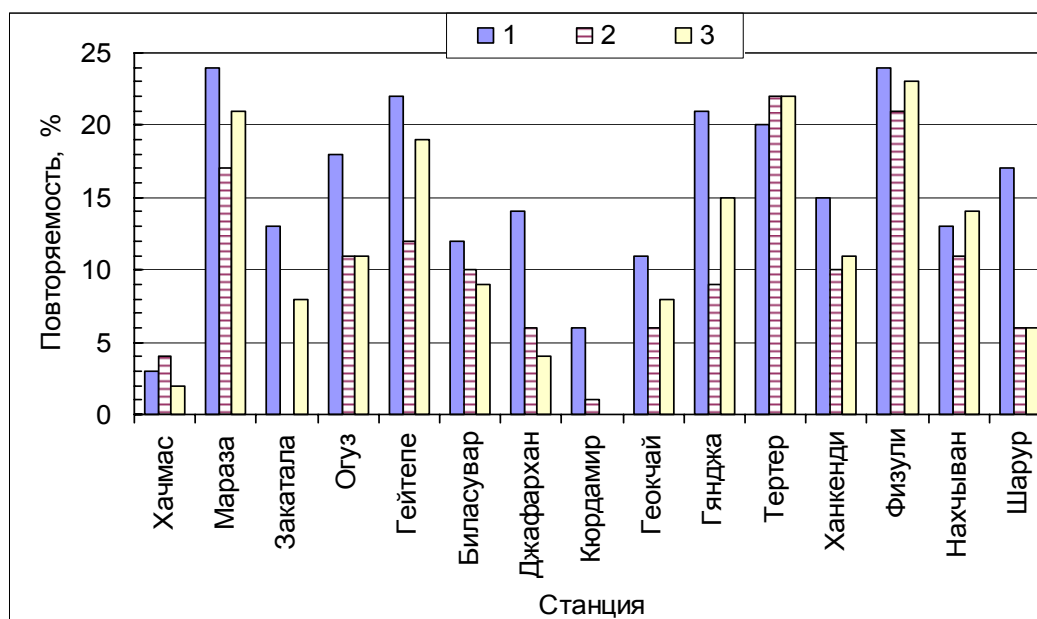


Рис. 3. Повторяемость (%) числа лет с запасами продуктивной влаги ниже их критических значений в слое 0-100 см по норме (1), GISS (2) и GFDL (3)

Из данных таблицы 2 следует, что в современных условиях наибольшая повторяемость лет с почвенной засухой в слое 0-20 см отмечена в Тер-Тере, Гейтепе, Гяндже и Шаруре. В Закатале, Кюрдамире, Геокчае годы с почвенной засухой не отмечены. В остальных станциях число лет с засухой варьировалось в различном диапазоне. В ус-

ловиях как по сценарию GISS, так и по GFDL-3 вероятность засухи сильно уменьшится: в Хачмасае – 5 раз, Огузе – 3-4, Гейтепе – 4-6, Физули – 5-10, Шаруре – 5-14, Джафархане – 4-5, Ханкенди – 6-7 раз. В Тер-Тере изменение не произойдет, т.е. вероятность засухи будет высокая и очень близкая к современному состоянию. В Гяндже по GISS повто-

ряемость уменьшится в 3 раза, а по GFDL – 1,5 раз. В Нахчыване произойдет небольшое изменение.

В современных условиях по данным запасов влаги слоя 0-100 см повторяемость почвенной засухи буде очень низкой в Хачмасае и Кюрдамире, а самое высокое – в Маразе, Физули, Гейтепе, Гяндже и Тер-Тере. В климатических условиях по сценарию GISS в ряде районах повторяемость лет с засухой уменьшится. Сильное снижение будет в Зака-тале, Джафархане, Гейтепе, Кюрдамире, Гяндже и Шаруре. В остальных произойдут небольшие изменения. Похожие результаты получены и по сценарию GFDL-3.

В современных условиях по данным запасов продуктивной влаги слоя 20-100 см повторяемость сильной засухи отмечены в Маразе, Огузе, Гейтепе, Тер-Тере и Ханкенди. Как по сценарию GISS, так и по GFDL-3 повторяемость сильной засухи в большинстве районах заметно снизится, только в Тер-Тере почти каждый год будет сильная почвенная засуха. В основном сильному воздействию почвенной засухи подвержены богарное земледелие (Маразе, Огуз, Зака-тала, Гейтепе, Ханкенди, Физули). В качестве примера на рисунке 3 показана повторяемость числа дней с запасами продуктивной влаги ниже их критических значений в слое 0-100 см.

Выводы

1. Предложенную модель можно использовать для оценки влияния ожидаемых изменений климата на влажность почвы в различных почвенно-климатических условиях Азербайджана.

2. Выбранные сценарии изменения климата охватывают возможные пределы изменения температуры воздуха и атмосферных осадков.

3. В качестве базового периода выбраны 1961-1990 гг. Будущие изменения влажности почвы оценивались относительно этого периода.

4. Выявлено, что сильному воздействию почвенной засухи подвержено в основном богарное земледелие (Маразе, Огуз, Зака-тала, Гейтепе, Ханкенди, Физули).

5. Полученные результаты являются первыми результатами для климатических условий Азербайджана и представляют собой одни из возможных направлений в разработке адаптационных мер по возделыванию озимой пшеницы к вероятным изменениям климатических условий.

Библиографический список

1. Сафаров С.Г. Прикладное динамическое моделирование водно-теплого режима системы «почва-растение-атмосфера». – Баку; Элм, 1999. – 230 с.
2. Сафаров С.Г. Основные этапы создания метеорологической информационной базы в Азгоскомгидромете // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2002. – Вып. 170. – С. 230-239.
3. Агrometeorologicheskii ezhegodniki za 1981-1985 гг. – Баку, 1982-1986 гг.
4. Материалы определения агрогидробиологических свойств почвы Азербайджана и Дагестана. – Баку, 1983. – Ч. I. – 443 с.
5. Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Агrometeorologicheskie osnovy teplovoi melioratsii pochv. – Л.: Гидрометеиздат, 1979 – 231 с.
6. Fukui H. Climatic variability and agriculture in tropical moist regions // In WMO, Proceedings of the World Climate Con. – Geneva, WMO. – № 537. – 1979. – P. 426-474.
7. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.
8. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 424 с.

References

1. Safarov S.G. Prikladnoe dinamicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima sistemy «pochva-rastenie-atmosfera». – Baku: Elm, 1999. – 230 s.
2. Safarov S.G. Osnovnye etapy sozdaniya meteorologicheskoi informatsionnoi bazy v Azgoskomgidromete // Trudy VNIIGMI-MTsD. – 2002. – Vyp. 170. – S. 230-239.
3. Agrometeorologicheskii ezhegodniki za 1981-1985 gg., Baku, 1982-1986 gg.
4. Materialy opredeleniya agrogidrobiologicheskikh svoistv pochvy Azerbaidzhana i Dagestana, Ch. 1. – Baku, 1983. – 443 s.
5. Kurtener D.A., Chudnovskii A.F. Agrometeorologicheskie osnovy teplovoi melioratsii pochv. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 231 s.
6. Fukui H. Climatic variability and agriculture in tropical moist regions // In WMO, Proceedings of the World Climate Con. – Geneva, WMO. – No. 537. – 1979. – P. 426-474.
7. Verigo S.A., Razumova L.A. Pochvennaya vlaga. – L.: Gidrometeoizdat, 1973. – 328 s.
8. Polevoi A.N. Sel'skoxozyaistvennaya meteorologiya. – SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. – 424 s.

