Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 631.434.52

Адаптивная система функционирования агромелиоративного ландшафта в условиях Кабардино-Балкарской Республики

Езиев М.И., Шекихачева Л.З.

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова

Аннотация

В статье предложена адаптивная система функционирования агромелиоративного ландшафта в условиях Кабардино-Балкарской Республики. Разработана процедура формирования и реализации технологической схемы указанной системы. С использованием разработанной системы произведен подбор соответствующих сельскохозяйственных культур для 60 микроподзон трех функциональных зон Кабардино-Балкарской Республики. Приведен алгоритм решения некоторых функциональных задач управления продукционными процессами.

Ключевые слова: АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ЛАНДШАФТ, МОНИТОРИНГ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, ИЗМЕНЧИВОСТЬ, УСТОЙЧИВОСТЬ, ФУНКЦИОНАЛЬНО-АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Введение

Целевыми характеристиками развития и функционирования агромелиоративного ландшафта (АЛ) в том или ином режиме являются параметры состояния, изменчивости и устойчивости [1-10]. Эти параметры выражают функционально-адаптивный потенциал (ФАП), совокупную стабильность и оптимальность АЛ и нацеливают на комплексный подход в решении задач повышения этого потенциала с использованием мелиоративных, агротехнических, организационно-хозяйственных и других мероприятий, технологических приемов. Перечень необходимых мероприятий, технологических приемов для повышения ФАП АЛ определяется в результате агроэкологического мониторинга ресурсовоспроизводящей системы (РС) АЛ.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

В случае необходимости повышения ФАП АЛ производится структурная, конструктивная и адаптивная «деформация» всех звеньев АЛ и элементов ее РС. Структурная «деформация» производится с целью уточнения границ АЛ и его компонентов, решения пространственных задач распределения природных и других ресурсов, исследования и контроля отдельных параметров, процессов и режимов, пространственно-временной структуры и степени реализации заданных параметров функционирования. Основной задачей конструктивной «деформации» является определение рациональных схем образования внутриландшафтной инфраструктуры обеспечения функционирования и защиты АЛ в зависимости от уровня интенсивности эксплуатации (высокий, средний, низкий). Адаптивная «деформация» направлена на решение задач архитектоники, повышения мозаичности, выбора необходимых мероприятий, типов защитных сооружений, техники, технологий, обладающих высоким ФАП. Сложный вариационный процесс структурной, конструктивной и адаптивной «деформации» производится до тех пор, пока искомая адекватность не достигнет максимально возможного (ФАП не будет близок к единице). Учитывая изложенное, разработка адаптивной системы функционирования агромелиоративного ландшафта является актуальной проблемой.

В рамках функционально-адаптивной системы управления ресурсовоспроизводящими процессами (РП) в АЛ выполняются четыре последовательные фазы адаптации. Процедуру же формирования и реализации технологической схемы данной системы можно представить следующим образом:

1. Производится агроэкологический мониторинг АЛ.

2. С учетом количественных значений функционально-адаптивных характеристик каждого ландшафтного участка производится подбор соответствующего состава сельскохозяйственных культур, сортов и гибридов продуцентов – первая фаза адаптации. Для этой цели должны быть представлены результаты агроэкологической оценки адаптивных характеристик сортов и гибридов продуцентов.

3. Производится агроэкологический мониторинг РП выбранных культур, сортов и гибридов продуцентов. В ходе исследований устанавливается характер изменения выходных величин при изменении входных воздействий на РП при разных технологических режимах функционирования данного процесса в динамике.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

4. Производится количественная оценка функционально-адаптивных характеристик РП (состояния, реакции, изменчивости, устойчивости).

5. С использованием количественных значений характеристик изменчивости и устойчивости подбираются режимы функционирования РП - вторая фаза адаптации.

6. С использованием комплексных показателей агроэкологической и эколого-экономической оценки производится тестирование промежуточных и конечных результатов РП при данных режимах функционирования.

7. По результатам тестирования подбирается оптимальный режим функционирования для последующего цикла РП данного продуцента, сорта или гибрида – третья фаза адаптации.

8. С использованием количественных характеристик реакции производится адаптация выбранного технологического режима к ритмам роста и развития продуцентов – четвертая фаза адаптации.

Цель работы – разработка адаптивной системы функционирования агромелиоративного ландшафта в условиях Кабардино-Балкарской Республики.

Объекты и методы

Использованы теоретические методы исследований – системный анализ, математическое моделирование, описания технологических процессов на основе известных законов и методов классической механики и математического анализа, а также комплексные исследования, анализ и обобщение полученных результатов, публикаций отечественных и зарубежных авторов. Обработка результатов исследований производилась с помощью методов математической статистики.

Результаты исследования

На рис. 1. представлена модель адаптивной системы обеспечения функционирования РП АЛ.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

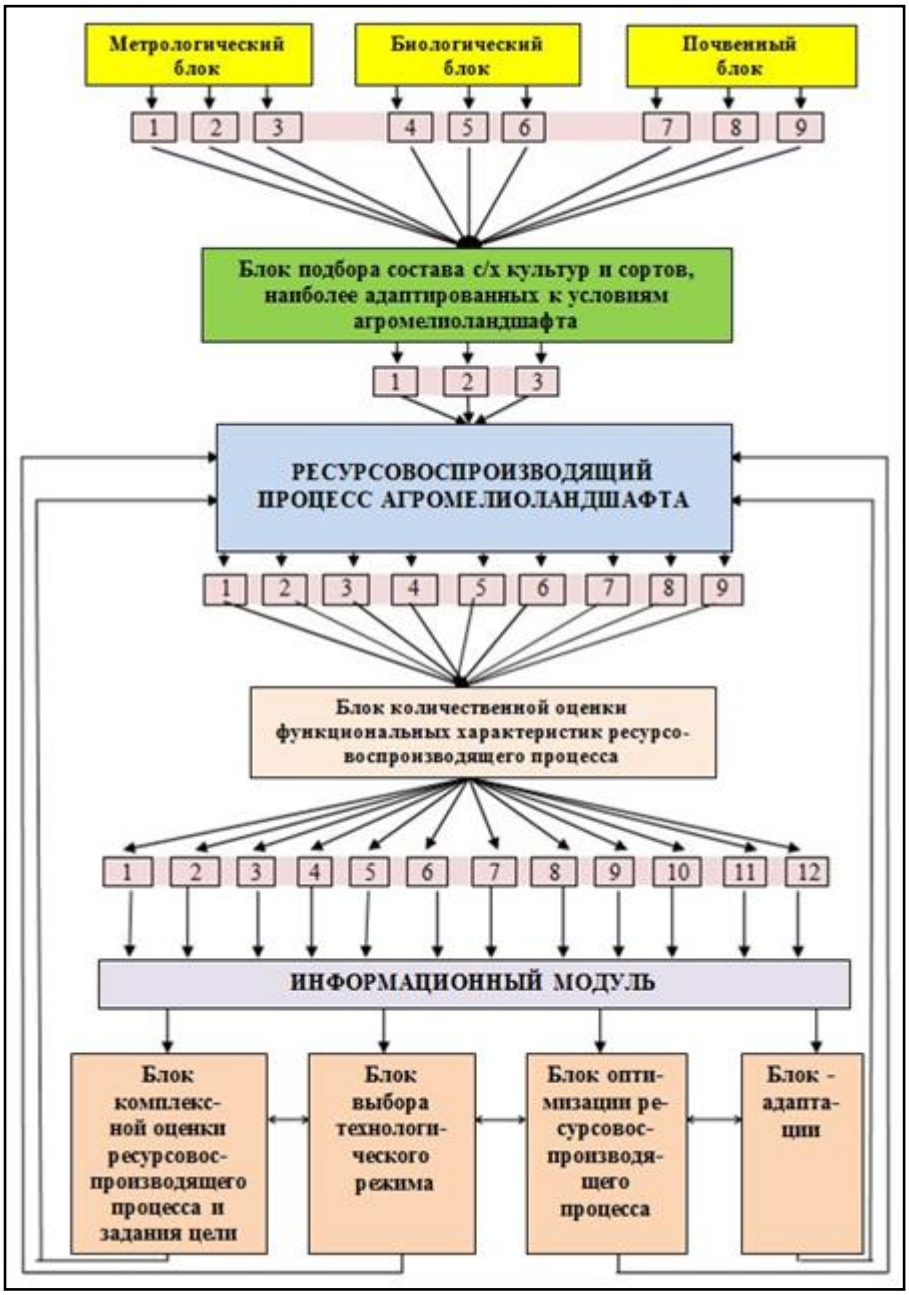

Рис. 1. Модель адаптивной системы обеспечения функционирования РП АЛ

Данная система имеет четыре уровня информационного обеспечения:

I. 1) влагообеспеченность; 2) теплообеспеченность; 3) фотосинтетически активная радиация; 4) сорта и гибриды продуцентов; 5) агробиологическая продуктивность; 6) подверженность болезням и вредителям; 7) водно-физические характеристики почвы; 8) агрохимические характеристики почвы; 9) теплофизические характеристики.

II. 1) сорта и гибриды продуцентов; 2) сроки посева; 3) густота посева;

III. 1) темпы роста биомассы; 2) тепловой режим; 3) водный режим; 4) густота стояния продуцентов; 5) содержание элементов минерального питания в почве в динамике; 6) динамика солей в почве; 7) дефициты водопотребления; 8) содержание вредных ингредиентов в почве; 9) номер расчетного периода РП.

IV. 1) индикаторы реакции сорта или гибрида к дефициту водопотребления; 2) индикаторы реакции продуцентов к обеспеченности почвы элементами минерального питания; 3) индикаторы реакции продуцентов к теплообеспеченности; 4) индикаторы реакции продуцентов к загущенности посевов; 5) индикаторы реакции продуцентов к содержанию солей в почве; 6) индикаторы изменчивости влагообеспеченности; 7) индикаторы изменчивости теплообеспеченности; 8) индикаторы изменчивости содержания элементов минерального питания; 9) индикаторы устойчивости темпа роста продуцентов (биомассы); 10) индикаторы устойчивости влагообеспеченности; 11) индикаторы устойчивости теплообеспеченности РП; 12) индикаторы устойчивости РП.

Данный вариант информационного обеспечения системы оперативного управления РП можно считать первоначальным, стартовым вариантом. В последующих циклах РП на всех уровнях информационного обеспечения производится уточнение и пополнение недостающей информации. Таким образом, система управления РП постепенно приспосабливается (адаптируется) к самому РП АЛ. Конечная цель при этом – достижение оптимального функционирования системы управления РП АЛ.

Вторая задача состоит в достижении оптимального функционирования РП посредством адаптации технологических режимов к ритмам роста и развития продуцентов. В качестве адаптирующих элементов здесь выступают функциональные характеристики РП: реакции, изменчивости, устойчивости, которые могут быть представлены количественно в виде индексов или коэффициентов (четвертый уровень информационного обеспечения (рис. 1).

С использованием представленной системы произведен подбор соответствующих сельскохозяйственных культур для 60 микроподзон 3-х функциональных зон Кабардино-Балкарской Республики (табл. 1), а также сортов, в наибольшей мере приспособленных к условиям данных микроподзон.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Таблица 1. Уровни повышения продуктивности полевых культур в % за счет адаптивной системы земледелия в микроподзонах Кабардино-Балкарской Республики

№ п/п	Показатели	Полевые культуры								
		Озимая пшеница	Озимый ячмень	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Кукуруза	Подсолнечник	Картофель	Просо	Сахарная свекла
1	Адаптивное размещение полевых культур	14-17	12-15	27-30	15-17	20-50	18-20	25-50	30-40	15-25
2	Выбор лучших предшественников	5-10	15-16	12-14	8-10	6-8	22-25	10-12	8-12	8-15
3	В зависимости от способа обработки почвы	8-10	10-12	4-6	5-7	5-10	6-8	12-15	8-10	10-15
4	В зависимости от сроков высева	18-20	7-22	14-17	11-13	16-19	8-10	25-30	10-12	10-12
5	В зависимости от способа посева	4-7	3-5	8-10	8-12	7-10	5-8	10-12	5-10	6-8
6	В зависимости от нормы высева	12-15	14-16	5-7	4-6	15-18	14-18	12-15	7-10	5-7
7	Внесение адаптированных доз удобрений	14-29	15-16	24-28	15-20	25-28	15-20	18-25	12-15	15-17
8	Оптимизация сроков полива	5-7	4-5	3-5	3-5	10-15	4-5	10-12	4-5	8-15
9	В зависимости от сроков уборки	6-8	5-12	5-8	4-6	8-10	21-23	10-15	10–12 (при раздельной уборке)	10-15

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

На рис. 2 представлена технологическая схема функционально-адаптивной системы управления РП. Вектором $Z = (z_1, z_2, \ldots, z_k)$ обозначена совокупность контролируемых внешних воздействий, неконтролируемых внешних воздействий – вектором $F = (f_1, f_2, \ldots, f_k)$.

Управляемыми величинами являются прирост биомассы и другие биометрические показатели, в зависимости от вида продуцента.

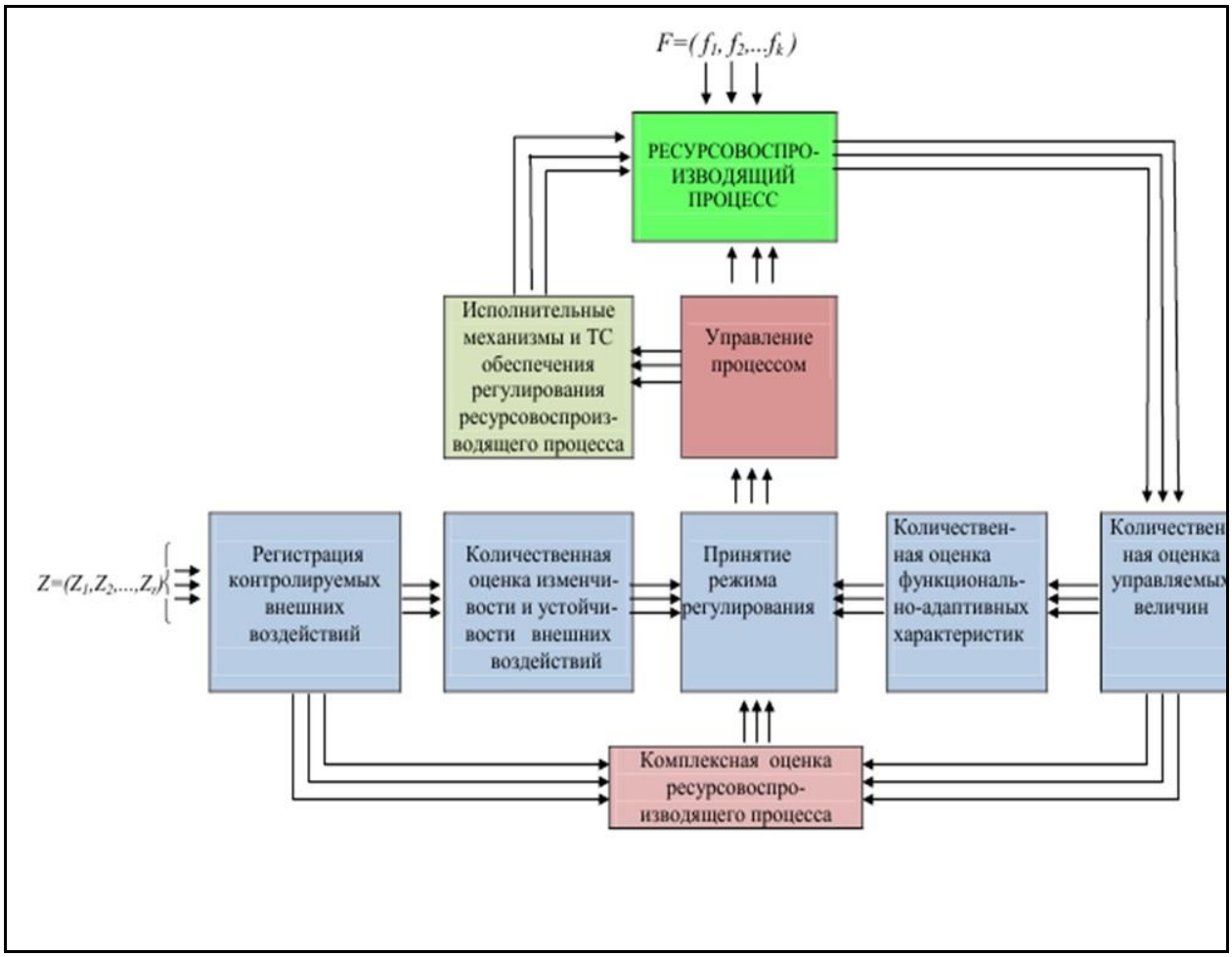

Рис. 2. Технологическая схема функционально-адаптивной системы управления

Устойчивость данной системы управления РП обеспечивается, прежде всего, тем, что в основу внутренней функциональной схемы системы заложены закономерности роста и развития продуцентов, сортов и гибридов разных групп спелости.

Достаточно высокая адекватность системы достигнута за счет применения функциональных, оптимизационных моделей, адаптированных к многообразию

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

агроэкологических условий.

Параболическая форма приращения биомассы продуцента получена на самом деле путем аппроксимации точек, образующие кривых, имеющих более сложную конфигурацию. Для их описания предложена модель, реализация которой возможна в условиях более высокого уровня управления, поэтому данная модель имеет в большей степени прикладное значение и может быть отнесена к классу функциональных.

Некоторые прогнозные данные, полученные в ходе эксперимента, иллюстрируются рис. 3.

Основным критерием применения данной системы оптимизации и стабилизации, адаптивной интенсификации РП является эффективное использование агроэкологических ресурсов, техники и технологии, реализация потенциальных возможностей продуцентов. Экологическая направленность ее очевидна, так как при этом исключается возможность образования непроизводительных потерь природных, материальных, энергетических и других ресурсов.

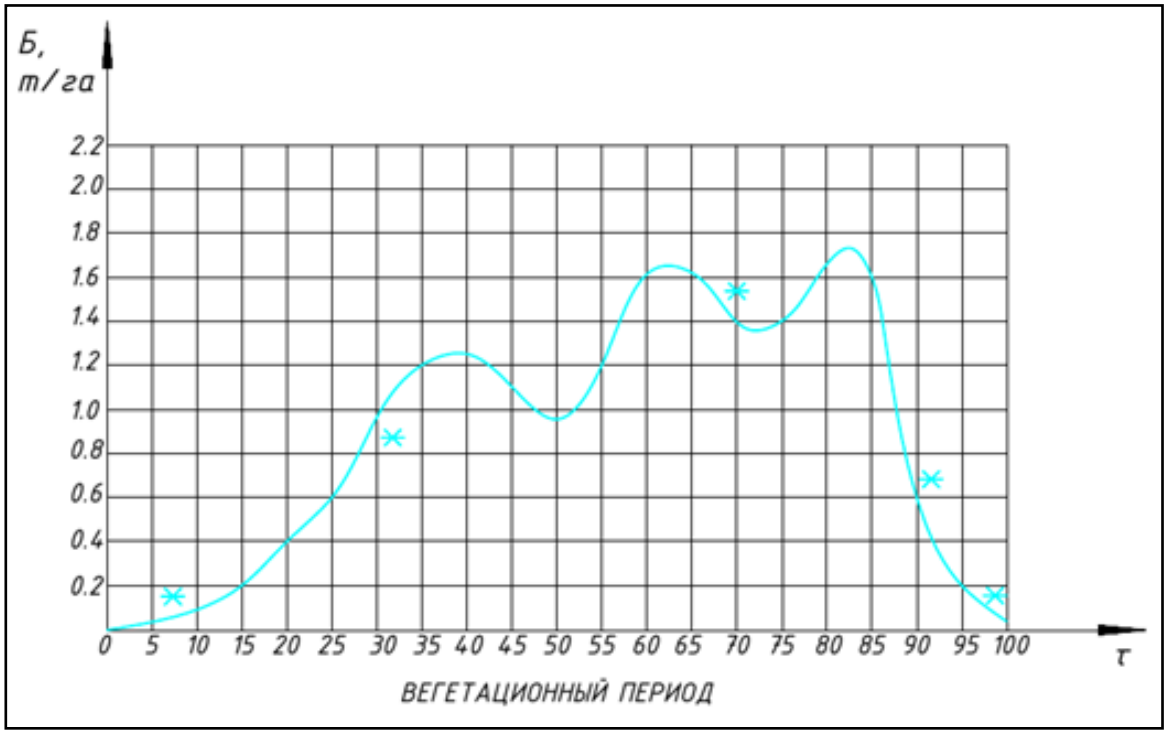

Рис. 3. Динамика формирования сухой биомассы продуцента
Примечание: * - прогнозные точки.

В процессе поиска оптимальной схемы функционирования РС, в пределах

поставленной цели, конкретизируются агроэкологические, эколого-экономические показатели. Данные показатели дают общую характеристику объекта управления, регламентируют формирование и использование того или иного режима функционирования РП.

Основными режимами функционирования РС АЛ являются:

1. Режим, который обеспечивает максимальный экономический эффект за счет интенсивного потребления ресурсов почвенного плодородия без учета темпов их восстановления. Числовые показатели состояния при этом стремятся в сторону предельно допустимых значений нижнего порога адаптивного потенциала. Такой режим функционирования уместно обозначить как форсированный.

2. Режим, который обеспечивает определенный экономический эффект, но с замедленным темпом снижения показателей состояния в сторону нижнего порога адаптивного потенциала. Этот режим можно назвать умеренным.

3. Режим, обеспечивающий реальный экономический эффект с учетом реальных возможностей и требований всей РС. Темпы потребления возобновляемых ресурсов ниже или равны темпам их восстановления. Показатели состояния постепенно приближаются к диапазону оптимума. Такой режим является оптимальным.

Могут быть и другие режимы функционирования РС АЛ. Но результаты функционирования должны находиться в рамках границ допустимых значений агроэкологических и эколого-экономических комплексных показателей.

Выбор рациональных режимов функционирования тех или иных процессов, как обычно, достигается путем варьирования одновременно всеми входными параметрами до тех пор, пока искомая функция не достигнет экстремального значения, определяемого ограничениями, накладываемыми на систему, или одним параметром, пока с уменьшением его не начнется ухудшение других, т.е. здесь используется соизмерение выигрыша по одному показателю с проигрышем по другому [11-13]. Однако это должно быть не просто соизмерение, а сложный вариационный процесс сопоставления показателей эффективности, измеряемых в различных единицах.

Комплексные показатели функционирования РС АЛ регламентируют также использование для целей возделывания тех или иных сортов и гибридов продуцентов по их адаптивному потенциалу.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Ритмы роста и развития основных компонентов РП выражаются количественно в виде индикаторов состояния, реакции, изменчивости и устойчивости. Таким образом, каждый компонент РС АЛ может представлять цифровой динамический модуль.

Алгоритм решения некоторых функциональных задач управления продукционными процессами:

1. Задается ландшафтно-сельскохозяйственный участок (ЛСУ), состав культур которого и их чередование остается постоянным или условно постоянным:

$$\sigma_i = const(\sum_{i=1}^{k}\sigma - 1), \qquad (1)$$

где σ_i – доля i-й культуры в севообороте.

2. Устанавливаются нормы режимов регулирования (поливные нормы, нормы внесения удобрений и так далее).

3. С учетом индикаторов реакции сортов и гибридов сельскохозяйственных культур устанавливаются оптимальные сроки регулирования водных, пищевых и других режимов, обеспечивающих функционирование продукционного процесса.

4. Исходя из сроков и норм регулирования, производительности и других технических характеристик исполнительных механизмов, для i-го рабочего поля ЛСУ устанавливается i-й график регулирования продукционного процесса в течение вегетационного периода.

При комплектовании графика реализации технологических операций регулирования продукционного процесса рекомендуется руководствоваться следующими правилами:

1. Сдвиги дат начала и окончания технологических операций регулирования, в первую очередь, производится для тех культур, у которых индикаторы реакции λ на данный период незначительны, $\lambda \leq 0{,}05$.

2. При условии $0{,}05 < \lambda \leq 0{,}12$ сроки переноса дат регулирования сокращаются вдвое.

3. При условии $0{,}12 < \lambda \leq 0{,}20$ сроки переноса дат регулирования сокращаются в три раза.

4. Перенос сроков регулирования вправо, при условии $\lambda > 0{,}2$, сопряжены с возможностью образования значительных потерь урожая >20%.

Возможные потери урожая в % устанавливают, как:

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

$$У_{ij} = 100\lambda_{ij}, \qquad (2)$$

где $У_{ij}$ – возможные потери урожая i–й культуры в j–й период; λ_{ij} – индикатор реакции i–й культуры к дефициту водопотребления в j–й период.

В зависимости от уровня управления технологическими процессами могут быть использованы разные варианты формирования оптимальных схем регулирования параметров [14].

Первый вариант. При высоком уровне управления используется матрица выбора решений (табл. 2). Например, для выбора оптимальной схемы регулирования водного режима при ограничениях на оросительную воду и дождевальную технику.

Таблица 2. Матрица выбора решений, Sg – условная продуктивность

Варианты ограничений на оросительную воду		B_1	B_i	…	B_m
Варианты ограничений на дождевальную технику		T_1	T_i	…	T_m
Варианты дефицитов водопотребления		D_1	D_i	…	D_m
Индикаторы реакции культур к дефициту водопотребления		λ_1	λ_i	…	λ_m
Вероятность реализации		P_1	P_i	…	P_m
Варианты действий	W_1	Sg_{11}	Sg_{1j}	Sg_{1j}	Sg_{1m}
	W_i	Sg_{i1}	Sg_{ij}	…	…
	…	…	…	…	…
	W_n	Sg_{n1}	Sg_{nj}	…	Sg_{nm}

Второй вариант. Используется при других уровнях управления. Например, требуется установить оптимальную последовательность поливов на основании данных, приводимых в таблице 3, при тех же ограничениях.

Таблица 3. Исходные данные для определения последовательности поливов

Функциональное рабочее поле	Продуцент	Дефицит влагозапасов в почве, м^3/га	Индикаторы реакции продуцентов к дефициту водопотребления
1	Кукуруза на зерно	650	0,21
2	Люцерна	530	0,11
3	Озимая пшеница	420	0,07
4	Картофель	490	0,14
5	Подсолнечник	540	0,24
6	Кукуруза на силос	570	0,15

В данном случае проведение поливов по схеме 5-1-6-4-2-3 может обеспечить минимум потерь урожая при данных дефицитах влагозапасов в почве и реакции продуцентов к дефицитам водопотребления.

Вывод

Максимальные сроки переноса дат выполнения технологических операций регулирования водного, пищевого и других режимов, обеспечивающих функционирование продукционного процесса, устанавливают в зависимости от вида технологических операций. Например, при орошении возможные максимальные сроки переноса дат поливов для влаголюбивых продуцентов – 3…4 дня, для засухоустойчивых – 8…10 дней.

Рассмотрены различные варианты формирования оптимальных схем регулирования параметров, определяющих параметры продукционного процесса. Выбор той или иной схемы регулирования зависит в первую очередь от поставленной цели, уровня организационной инфраструктуры управления, оснащенности необходимыми исполнительными механизмами и техническими средствами, обеспеченности ресурсами.

Список использованных источников:

1. Васильев С.М., Митяева Л.А. Оценка процессов деградации орошаемых земель в рамках калибровки сервисов мониторинга сельскохозяйственных земель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 4 (24). – С. 70–85.
2. Щедрин В.Н., Васильев С.М. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 1 (33). – С. 1–11.
3. Головина Н.А., Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. Разработка экологически безопасного фильтрующего элемента для капельного орошения Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 2 (26). – С. 144–155.
4. Васильев С.М., Бабичев А.Н., Монастырский В.А., Ольгаренко В.И. Стратегия успешного развития мелиорации - прецизионное орошение // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2020. – № 3 (39). – С. 1–22.
5. Балкизов А.Б., Сасиков А.С. Задачи регулирования водного режима почв и особенности его формирования для южных черноземов // Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2018. – С. 35–37.

6. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards // Indian Journal of Ecology. – 2017. – T 44. – № 2. – P. 239-243.

7. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Пазова Т.Х., Шекихачева Л.З., Курманова М.К. Математическое моделирование процесса возникновения водной эрозии [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/2/st_222.pdf. – DOI: https://doi.org/10.51419/202122222.

8. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Пазова Т.Х., Дзуганов В.Б., Балкаров Р.А., Фиапшев А.Г. Математическое моделирование эрозионных процессов в условиях Северо-Кавказского региона // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (65). – С. 96–101. – DOI: 10.31563/1684-7628-2023-65-1-96-101/

9. Apazhev A.K., Berbekov V.N., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Bystraya G.V., Shekikhacheva L.Z. Effects of applying safe methods for protecting fruit plantations from pests // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – 548(4). – 042022. – DOI: 10.1088/1755-1315/548/4/042022. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/548/4/042022/pdf.

10. Apazhev A.K., Berbekov V.N., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Bakuev G.H., Shekikhacheva L.Z. Environmental engineering approach for ecologization of plant protection systems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 919(6). – 062002. – DOI: 10.1088/1757-899X/919/6/062002. – URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/919/6/062002/pdf

11. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Дзуганов В.Б., Шекихачева Л.З., Чеченов М.М., Шекихачев А.А. Основные направления повышения эффективности использования сельскохозяйственной техники // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 4 (52). – DOI: 10.51419/202124418.

12. Шекихачев Ю.А., Магомедов Ф.М. Математическое моделирование процесса удаления растительности при проведении мелиоративных работ // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2022. - № 2 (36). – С. 118–127. – DOI: 10.55196/2411-3492-2022-2-36-118-127.

13. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2022. – № 1 (35). – С. 81–89. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-81-89.

14. Шекихачев Ю.А., Пазова Т.Х., Кушаев С.Х. Технологические схемы решения задач природопользования в агромелиоландшафтах [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/1/st_117.pdf. – DOI: https://doi.org/10.51419/202121117.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Цитирование:

Езиев М.И., Шекихачева Л.З. Адаптивная система функционирования агромелиоративного ландшафта в условиях Кабардино-Балкарской Республики [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_259.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202132259.