жительных экспериментов с проростками злаковых культур необходимо при статистической обработке полученных данных учитывать изменения измеренных сигналов биопотенциалов, полученных в разные дни эксперимента. Кроме того, необходимо провести исследования, аналогичные представленным в данной работе, на пшенице других сортах и на других злаковых культурах.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований значений биопотенциалов при воздействии на проростки пшеницы сорта «Новосибирская 41» пониженной и повышенной температуры показано наличие зависимости величины биопотенциалов от возраста объекта (проростка), который подвергается воздействию. Полученные по результатам исследований зависимости биопотенциала от возраста проростка выражаются квадратичной функцией, убывающей при воздействии повышенной температуры и возрастающей при воздействии пониженной.

Использованные источники:

1. Сероклинов Г.В., Гунько А.В. Информационные технологии в исследовании биопотенциалов растений при действии стрессоров // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21. – Спец. вып. 1. – С. 94-103.
2. Сероклинов Г.В., Гунько А.В., Добровольский Н.А. Программное обеспечение автоматизированного измерительного комплекса // Методы и технические средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве: труды ГНУ СибФТИ Россельхозакадемии. – Новосибирск: СибФТИ, 2011. – С. 152-156.
3. Сурова Л.М. Влияние переменного потенциала на устойчивость фотосинтетического аппарата гороха посевного (*Pisum sativum* L.): дис. ... канд. биол. наук. – Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2017. – 111 с.
4. Сероклинов Г.В., Гунько А.В. Адаптация образцов злаковых растений как метод повышения информативности данных при экспериментальных исследованиях биопотенциалов // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 14-17 окт. 2017 г. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – С. 217-222.

УДК 330.4:631:551.583

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-117-122

Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е.,

*Всероссийский институт аграрных проблем и информатики имени А. А. Никонова – филиал
Федерального научного центра
аграрной экономики и социального развития сельских территорий – ВНИИЭСХ, Москва*

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКОГО ФАКТОРА

В статье рассматривается структура и основные функции информационной системы стратегического планирования для региональных агропродовольственных систем в условиях изменения климата для обоснования эффективной стратегии землепользования. Процесс стратегического планирования развития агропродовольственной системы к изменению климата можно представить в виде последовательности шагов: сбор и обработка данных; прогноз урожайности; построение социально-экономического сценария в зависимости от целевого направления развития в условиях изменения климата; выбор стратегии на основе анализа решений экономико-математической модели. Развитие информационных технологий может помочь процессу адаптации агропродовольственных систем к изменению климата.

Ключевые слова: землепользование, региональные агропродовольственные системы, агроэкологический потенциал, изменение климата, стратегии адаптации, цифровизация, экономико-математическое моделирование.

Агропродовольственная система (далее - АПС) это открытая система, производящая общественные блага в виде продуктов питания для населения путем первичного производства сельскохозяйственного сырья с последующей его переработкой, хранением, распределением и доведением до конечного потребителя. Для функционирования АПС требуется солнечная

энергия, определенные почвенно-климатические условия, живой труд, капитальные средства и различные виды расходуемых ресурсов. Помимо общественных благ АПС может продуцировать экологический ущерб, а ее эффективность и устойчивость зависят как от состояний внешней среды (во всех ее аспектах: экологическом, экономическом, социально-демографическом, политическом), так и от отношений между субъектами экономической деятельности, взаимодействующие подмножества которых и образует рассматриваемую систему.

Важным общественным требованием к необходимым свойствам АПС является устойчивость ее функционирования. По определению ФАО ООН [1] «устойчивая продовольственная система - это такая система, которая обеспечивает продовольственную безопасность и питание для всех таким образом, чтобы не подвергались риску экономические, социальные и экологические основы для обеспечения продовольственной безопасности и питания будущих поколений. Это означает, что она выгодна во всех аспектах: обеспечивает экономическую устойчивость, общество получает выгоду за счет обеспечения социальной устойчивости, и она оказывает положительное или нейтральное воздействие на окружающую среду».

Большая часть нынешней глобальной системы производства продуктов питания угрожает стабильности климата и экосистеме нашей планеты. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) об изменении климата, опустынивании, деградации земель, устойчивом управлении земельными ресурсами, продовольственной безопасности и потоках парниковых газов в наземных экосистемах [2] подчеркнул, что способы, которыми АПС в настоящее время функционируют, подрывают нашу способность прокормить прогнозируемые 10 миллиардов человек на планете в 2050 году. Следовательно, нам необходимо радикальное преобразование существующих систем питания.

Основным источником дестабилизации сельскохозяйственного производства и, следовательно, нарушения требований по устойчивости функционирования продовольственных систем, являются климатические воздействия и связанные с ними изменения агроэкологических условий, необходимых для возделывания культурных растений. Естественной реакцией продовольственных систем в этом случае является климатическая адаптация, сопряженная с трансформацией отраслевой структуры.

Процесс адаптации к долгосрочным климатическим изменениям можно себе представить в виде последовательности шагов по проектированию систем ведения сельского хозяйства на локальных территориях. В результате будут изменены свойства АПС, такие как набор возделываемых сельскохозяйственных культур, их сортов и гибридов, набор отраслей животноводства с обоснованием породного состава, отраслевая структура регионального сельского хозяйства, потребности в ресурсах с учетом трансформационных затрат и пр.

Рассмотрим конструкцию информационной системы, предназначенной для планирования производства растениеводческой продукции в АПС региона, которая может быть развернута на некоторой цифровой платформе региональных органов управления сельским хозяйством. Эта конструкция построена по адаптивной схеме, что означает наличие в ее структуре следующих элементов:

- исторической базы данных, которая пополняется в процессе эксплуатации системы фактической информацией;
- базы данных, в которой аккумулируются все прогнозируемые на плановый период результаты;
- методов оценки параметров зависимостей, которые используются в процедурах планирования;
- алгоритмов прогнозирования всего того, что нужно для принятия рациональных решений на плановом периоде;
- методов принятия рациональных плановых решений с оценкой их эффективности;
- процедуры адаптации, подстраивающей свободные параметры системы по критерию минимизации ошибок между историческими и фактическими результатами на некотором фиксированном интервале исторических данных со сдвигом этого интервала в реальном времени (скользящий режим адаптивного планирования).

Применительно к нашей предметной области система должна реализовывать следующие функции:

1. Сбор и накопление данных о всех характеристиках места действия, участвующих в выработке рациональных плановых решений. К таковым относятся структура посевных площадей, урожайности сельскохозяйственных культур и гидротермические условия их возделывания, цены реализации растениеводческой продукции, удельные расходы технологических ресурсов и цены их приобретения; данные о гидротермическом режиме места действия в соответствие с климатическими прогнозами. Все эти данные находятся в государственной или ведомственной статистике.

2. Построение эмпирических зависимостей урожайностей сельскохозяйственных культур от статистически значимых факторов с ежегодной корректировкой параметров. Предполагается реализация мультимодельного подхода (методы авторегрессии-скользящего среднего, агрометеорологические модели, применение GIS – технологий, многофакторные модели зависимости урожайности от производственных факторов). В качестве примера приведем зависимость урожайности зерновых и зернобобовых культур от среднемесячных температур и сумм осадков в данном регионе [3]. Значения гидротермических характеристик будущих периодов выбираются из долгосрочных прогнозов для данного места действия. В настоящее время наиболее надежными считаются результаты расчетов с использованием моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО).

3. Прогнозирование перечисленных характеристик планового периода с использованием разных методов. При годовом планировании необходимо спрогнозировать цены реализации и себестоимости продукции растениеводческих отраслей. Существует большое количество методов краткосрочного прогнозирования временных рядов, рассмотрение которых не входит в задачу данной работы.

4. Прогнозирование урожайностей планового периода с сохранением результатов для участия в последующих процедурах адаптации системы планирования.

5. Принятие решений о рациональной структуре посевных площадей.

6. По сути, здесь решается стандартная задача оптимизации структуры посевных площадей, которая обеспечит максимум прибыли при фиксированном бюджете в прогнозируемых условиях погодных условиях и состоянии экономического окружения.

7. Реализация решений в натуре (здесь мы исходим из предположения об отсутствии отклонений от рационального решения по воле производителя).

Исходной информацией для принятия стратегических решений по изменению отраслевой структуры растениеводства служат прогнозы урожайностей в сочетании с доходностями возделывания сельскохозяйственных культур в долгосрочной перспективе с учетом климатического фактора. Современный подход к прогнозированию климата в будущем с использованием МОЦАО предполагает расчеты, в которых изменяется параметр выбросов парниковых газов. Модели рассчитывают сценарии (Репрезентативные траектории концентраций – RCP) с различными значениями этого параметра. Эти сценарии находятся в диапазоне от наилучшего (RCP1.9) до наихудшего (RCP8.5) для экологии возможных объемов выбросов парниковых газов.

Для прогнозов в данной работе были выбраны два климатических сценария RCP8.5 и RCP4.5. Сценарий RCP8.5 – это сценарий бесконтрольного развития экономики в отношении выбросов парниковых газов. Расчеты по этому сценарию могут рассматриваться в качестве базовых для оценки экономических последствий и эффективности адаптационных мер. Сценарий же RCP4.5 базируется на наличии умеренных международных усилий по снижению выбросов CO₂ и частичного нивелирования последствий глобального потепления.

Проведенные расчеты с помощью информационной системы стратегического планирования развития АПС регионов с учетом климатического фактора, в частности, позволили определить валовые сборы зерновых и зернобобовых культур в целом по стране и ее регионам для двух климатических сценариев (таблица 1). Итоговая суммарная цифра валовых сборов зерновых и зернобобовых культур по стране по обоим вариантам климатических сценариев

находится в пределах целевого индикатора Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года [4] в 124,3 млн тонн. Если исходить из того, что прогнозное производство зерна при оптимистическом сценарии указано в той же стратегии 145,5 млн тонн, при базовом сценарии, соответственно, 124,3 млн тонн, а при пессимистическом сценарии – 121,3 млн тонн, то можно говорить о том, что при реализации сценария RCP8.5 у нашей страны будет больше шансов развивать производство зерновых по оптимистическому сценарию.

Таблица 1

Прогноз объемов производства зерновых и зернобобовых культур в 2030 году
по двум климатическим сценариям, млн. тонн

Регионы	Климатические сценарии		Регионы	Климатические сценарии	
	RCP4.5	RCP8.5		RCP4.5	RCP8.5
Российская Федерация	126860,2	143346,2	Пермская область	163,9	108,7
Алтайский край	3031,4	4916,3	Приморский край	354,6	391,6
Амурская область	571,7	592,2	Псковская область	283,1	236,7
Архангельская область	23	13,2	Республика Адыгея	65,5	188,3
Астраханская область	102,7	175,7	Республика Алтай	1958,6	1768
Белгородская область	3656,1	4865,5	Республика Башкортостан	214,8	177,7
Брянская область	1717,7	1939,4	Республика Бурятия	200	185,7
Владимирская область	278,8	238,5	Республика Дагестан	154,8	194,3
Волгоградская область	4253,1	5701,5	Республика Ингушетия	549,8	729,5
Вологодская область	330	257,4	Республика Коми	94,4	39,9
Воронежская область	4465,6	5890,6	Республика Крым	2279,8	4275,5
Еврейская АО	80,7	96,7	Республика Марий Эл	715,9	530,4
Забайкальский край	132,7	128,1	Республика Мордовия	87,4	53,9
Ивановская область	1227,1	1035,5	Республика Саха (Якутия)	112,9	105,6
Иркутская область	585,6	592,1	Республика Северная Осетия	7637	9745
Кабардино-Балкария	511,4	620,3	Республика Татарстан	97,6	39,3
Калининградская область	648	577,4	Республика Тыва	105,6	80,2
Калужская область	9,6	10,7	Республика Хакасия	6374	6682,7
Камчатская область	45,4	27,2	Ростовская область	871,4	1541,2
Карачаево-Черкесия	3435,1	4125,4	Рязанская область	6241,2	5936
Кемеровская область	749,2	1013	Самарская область	5494,6	5676,3
Кировская область	200,5	120,6	Саратовская область	3560,5	4292,8
Костромская область	3536,5	2910,3	Свердловская область	272,2	208,4
Краснодарский край	3768,2	7043,2	Смоленская область	7462	6900,5
Красноярский край	2621	3274,5	Ставропольский край	3515,8	4696,9
Курганская область	1514,4	1353,4	Тамбовская область	728,5	806,7
Курская область	158	223,1	Тверская область	602,7	517,8
Ленинградская область	3507,8	3184	Томская область	797,6	798,3
Липецкая область	5342,3	5900,6	Тульская область	3785,4	3899,9
Московская область	735,4	672,4	Тюменская область	1192,4	1077,8
Нижегородская область	31,3	11,1	Удмуртская Республика	761	563
Новгородская область	5253,1	4656,9	Ульяновская область	30,6	30,4
Новосибирская область	2160,6	3029,5	Хабаровский край	3244,7	3067,8
Омская область	4424,6	4414,6	Челябинская область	145,2	123,1
Оренбургская область	794,3	734,6	Чеченская Республика	118,8	179,1
Орловская область	4112,8	4619,8	Чувашская Республика	546	489,3
Пензенская область	1851,3	1900,7	Ярославская область	171,9	139,2

Источник: расчеты авторов

В целом этот прогноз согласуется и с докладом Николаса Стерна «Экономика изменения климата» [5], в котором утверждалось, что при благоприятном (гумидном) потеплении до середины XXI века можно ожидать роста урожайности в России, после чего наступит ее падение.

Сравнение выполненного прогноза с актуальными аналогами имеет своей целью продемонстрировать адекватность модели. Однако, выполненная авторами работа, более полезна для анализа региональных изменений в производстве зерна при реализации различных климатических сценариев. Сравнение валовых региональных сборов по выбранным сценариям доказывает нетривиальную динамику объемов производства (см. таблицу 1). Рост урожая не будет возрастать при глобальном потеплении автоматически в регионах на более высоких широтах так же, как и рост средних температур.

Обобщая вышеизложенное на данной ступени исследования можно сделать вывод о том, что устойчиво развивающейся является АПС, воспроизводственный процесс которой характеризуется [6]:

- в ресурсном аспекте – достаточностью ресурсов для реализации задач функционирования и развития этой системы;
- в структурном аспекте – устойчивостью, поддержанием основных пропорций, позволяющим сохранить динамическое равновесие элементов системы;
- в функциональном аспекте – эффективным использованием ресурсов, обеспечивающим заданный результат хозяйственной деятельности.

Стратегия развития региональных АПС, очевидно, может сводиться к следующим трем вариантам. Во-первых, это может быть корректировка отраслевой структуры при неизменных земельных ресурсах, а во-вторых, наращивание экстенсивных факторов производства при наличии возможностей сделать это. И, наконец, критерием стратегического развития может быть уменьшение объема вовлеченных в производство экстенсивных факторов с оптимизацией затрат. Выбор конкретного варианта стратегического развития АПС регионов в любом случае может быть сделан на основе анализа решений экономико-математической модели.

Цифровые информационные технологии дают возможность решения в реальном времени задачи устойчивого развития: экономического, социального и экологического АПС любого уровня. Цифровое сельское хозяйство является многообещающим в решении ключевых проблем, стоящих перед агропродовольственным сектором в оптимизации использования ограниченных природных ресурсов и неэффективности их использования, не оптимальностью управления производством, проблемами рынка и ограниченностью финансирования. Следует отметить, что COVID-19 стал катализатором внедрения цифровых информационных технологий, в том числе и в АПК.

Государственная политика должна способствовать внедрению цифровых информационных технологий в условиях ускорения климатических изменений, поскольку это одна из современных передовых мировых практик содействия и контроля обеспечения продовольственной безопасности, которая находится под угрозой роста населения, ограниченности ресурсов (прежде всего земли) и нарастания числа чрезвычайных ситуаций, аридных и тепловых стрессов.

Использованные источники:

1. Сайт ФАО ООН: Продовольственные системы. URL: <http://www.fao.org/food-systems/ru/> (дата обращения: 30.08.2021 г.).
2. Сайт МГЭИК: Специальный доклад МГЭИК об изменении климата, опустынивании, деградации земель, устойчивом управлении земельными ресурсами, продовольственной безопасности и потоках парниковых газов в наземных экосистемах. URL: <https://www.ipcc.ch/srccl/> (дата обращения: 30.08.2021).
3. Siptits, S. O. Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia / S. O. Siptits, I. A. Romanenko, N. E. Evdokimova // *Studies on Russian Economic Development*. – 2021. – Vol. 32. – No. 2. – P. 169-176. – DOI 10.1134/S1075700721020106.
4. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/560974985> (дата обращения: 30.08.2021).

5. Саммит ООН по продовольственным системам 2021 г. Научная группа. URL: <https://www.un.org/en/food-systems-summit/leadership#scientific-group> (дата обращения: 30.08.2021).
6. Романенко И.А., Сиптиц С.О., Светлов Н.М., Евдокимова. Устойчивость размещения аграрного производства по регионам России с учетом рисков климатических изменений. – Москва: Аналитик, 2018. – 168 с.

УДК 004.4

DOI: 10.26898/agroinfo-2021-122-125

*Счастливец Е.Л., Быков А.А., Юкина Н.И., Харлампенков И.Е.,
Кемеровский филиал Федерального исследовательского центра информационных
и вычислительных технологий*

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПЫЛЕГАЗОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

В статье рассмотрен опыт получения в оперативном режиме метеопараметров и данных замеров концентраций пыли на выбранном объекте с целью проведения расчетов для оценки загрязнения атмосферы. Описана созданная для решения этой задачи информационная система.

Ключевые слова: программно-аппаратного комплекс, метеостанция, датчики пыли, расчетные модели, геопортал, загрязнение атмосферы.

Действующая на предприятиях угольной промышленности система геоэкологического мониторинга построена на комплексе одиночных замеров по отдельным природным средам и их последующей обработке на основе сравнения с установленными нормативами загрязнения окружающей природной среды. Отметим, что система соответствует действующему природоохранному законодательству, но, тем не менее, не обеспечивает эффективного контроля и оценки воздействия функционирующего горнодобывающего предприятия на природные комплексы и население. Это связано, как с периодичностью измерений загрязнения окружающей природной среды, так и с точечным характером этих измерений, что практически не позволяет распространить эти данные на всю территорию ведения горных работ.

Для перехода от классического способа оценки экологической обстановки путем периодического отбора проб к непрерывному мониторингу необходимо создание нового класса информационно-аналитических платформ, обеспечивающих создание единого информационного пространства, соответствующего мировым стандартам обработки данных. В настоящее время появилось множество информационных систем в области экологии. К ним можно отнести:

1. Автоматизированная система автономного контроля сточных вод (АСАКС).
2. Система экологического мониторинга окружающей среды «СЭМОС».
3. Система экологического мониторинга Компании «ПРАЙМ ГРУП» и ОТОП.
4. Автоматизированная система экологического мониторинга научно-производственной фирмы «ДИЭМ».
5. Информационно-аналитическая система экологического мониторинга (ИАСЭМ).
6. ИС-КСУ «Экология»: Охрана окружающей среды.

Однако рассмотренные системы, как правило, направлены на задачи автоматизации документооборота в области экологии. В большинстве случаев они лишены компонентов для приема данных в автоматическом режиме от средств измерений (датчиков) и расчетных моделей для прогнозирования ситуации.

Нами предложен другой подход, основанный на объединении аппаратных средств измерения, модельных комплексов и информационной системы, которая обеспечивает инфраструктуру решения (рисунок 1). Основным источником данных выступает тандем из метеорологического комплекса и пылегазовых измерительных устройств, работающий в автоматическом режиме и отправляющих данные на сервер. Методанные позволяют с помощью нормативной модели МРР-2017 [1] и ПК ЭРА-ВОЗДУХ 3.0 [2] рассчитать поля суммарных