

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Решение задач, связанных с оценкой природных ресурсов Земли, стимулировало развитие целого ряда направлений экологических исследований. Неотъемлемой частью этих работ является оценка климатических ресурсов продуктивности растений.

Вполне естественно, что изменения климата, происходящие как под влиянием антропогенных воздействий, так и в связи с естественными тенденциями развития, обусловят определенную направленность перемен агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур.

Очевидно, что изменчивость агроклиматических ресурсов определенным образом будет воздействовать на продуктивность растений. В связи с этим возникают вопросы, связанные как с оценкой продуктивности агроклиматических ресурсов традиционных территорий возделывания определенных видов и сортов сельскохозяйственных культур, так и с изменением существующего размещения их.

Беспрецедентный и драматический рост цен на продукты сельского хозяйства на мировом рынке в начале 70-х гг., вновь подчеркнувший ненадежность и уязвимость источников продуктов питания для растущего населения нашей планеты [1], стимулировал развитие исследований, направленных на оценку пространственного и временного распределения сельскохозяйственного производства. В 1976 г. национальный научно-исследовательский совет США заявил, что «национальные и международные интересы США требуют изучения влияния погоды и колебаний климатических условий на местные и мировые источники продуктов питания с тем, чтобы можно было запланировать разумную реакцию на период непогоды» [2].

Исследования проблем количественной оценки влияния возможных изменений климата на продуктивность сельского хозяйства развиваются в различных направлениях: от использования метода экспертных оценок [3], статистических моделей «климат—урожай» [4], точечных моделей первичной продуктивности [5, 6] и динамических моделей «погода—урожай» [7] до разработки и применения пространственно распределенных глобальных моделей биосферы [8].

Рассмотрим пример применения динамической модели формирования урожая сельскохозяйственных культур [9] для оценки изменения продуктивности растениеводства под влиянием возможных изменений агроклиматических условий возделывания сельскохозяйственных культур. В модели процесс формирования урожая рассматривается как сложная совокупность целого ряда физиологических процессов, интенсивность которых определяется не только факторами внешней среды и биологическими особенностями растений, но и взаимосвязью самих процессов.

Для выполнения оценок проводятся расчеты по прикладным динамическим моделям формирования урожая сельскохозяйственных культур. Эти модели, предназначенные для агрометеорологических расчетов, описывают процессы фотосинтеза, дыхания и роста, содержат соответственно три биологических блока: фотосинтеза, дыхания, роста, а также блок преобразования исходной агрометеорологической информации — агрометеорологический.

Блок фотосинтеза. Фотосинтез листьев может быть представлен формулой [10]: $\Phi_0^f = KBI^j/K + BI^j$, где Φ_0^f — интенсивность фотосинтеза при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности и реальных условиях освещенности, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; K — интенсивность фотосинтеза при световом насыщении и нормальной концентрации CO_2 , $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$;

B — начальный наклон световой кривой фотосинтеза, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \times \times \text{ч}^{-1} / \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; I — интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР) внутри посева: $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$; j — номер шага расчетного периода.

В онтогенезе фотосинтетическая активность листа определяется его возрастом, напряженностью водно-теплового режима.

Для расчета фотосинтеза в онтогенезе и реальных условиях среды, отличных от биологически оптимальных, используется выражение:

$$\Phi_{\tau}^j = \Phi_0^j \alpha_{\Phi}^j \Psi_{\Phi}^j \gamma_{\Phi}^j,$$

где Φ_{τ} — интенсивность фотосинтеза в реальных условиях среды, $\text{мг CO}_2 \cdot \text{дм}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; α_{Φ} — онтогенетическая кривая фотосинтеза [9]; Ψ_{Φ} , γ_{Φ} — функции воздействия факторов внешней среды (средней за светлое время суток температуры воздуха и влажности почвы), представляющие собой одновыпуклые кривые. Функции α_{Φ} , Ψ_{Φ} и γ_{Φ} , входящие в соотношение (2), нормированы и изменяются от 0 до 1.

Суммарный фотосинтез посева за светлое время суток можно рассчитать по формуле:

$$\Phi^j = \varepsilon \Phi_{\tau}^j L^j \tau_d^j,$$

где Φ — дневной фотосинтез посева на единицу площади, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$; $\varepsilon = 0,68$ — коэффициент эффективности фотосинтеза; L — относительная площадь листовой поверхности, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; τ_d — длина дня, ч.

Блок дыхания. В отличие от процесса фотосинтеза способностью к дыхательному газообмену обладают все органы растения.

Затраты на дыхание подразделяются на дыхание, связанное с поддержанием структурной организации тканей и с передвижением веществ, фотосинтезом и созданием новых структурных единиц [11, 12]:

$$R^j = \alpha_R^j (c_1 \tilde{M}^j + c_2 \Phi^j),$$

где R — затраты на дыхание, $\text{г} / \text{м}^2$; α_R — онтогенетическая кривая дыхания [9]; c_1 — коэффициент, характеризующий затраты на поддержание

структуры; $\tilde{M}$ — сухая функционирующая биомасса посева, $\text{г} / \text{м}^2$; c_2 — коэффициент, характеризующий затраты, связанные с передвижением веществ, фотосинтезом и созданием новых структурных единиц.

Блок роста. Прирост биомассы посева определяется разностью между суммарным фотосинтезом посева и затратами на дыхание: $\Delta M = \Phi^j - R^j$. Для описания роста отдельных органов растений воспользуемся предложенными в работе [13] ростовыми уравнениями в модифицированном [9, 14] виде:

$$\begin{cases} m_i^{j+1} = m_i^j + (\beta_i^j \Delta M^j - \vartheta_i^j \tilde{m}_i^j); \\ m_p^{j+1} = m_p^j + (\beta_p^j \Delta M^j + \sum_{l,s,z}^{\text{I, s, z}} \vartheta_l^j \tilde{m}_l^j); \\ m_g^{j+1} = m_g^j + \left(\frac{\Delta m_{g\text{max}}^j}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta m_p^j / \Delta t}{K_g + \Delta m_p^j / \Delta t} \right), \end{cases}$$

где m_i — общая сухая биомасса отдельных (l — листья, s — стебли; z — корни; p — репродуктивные органы; g — зерно) органов, $\text{г} / \text{м}^2$; β_i — функции перераспределения «свежих» ассимилянтов; ϑ_i — функции перераспределения «старых» ассимилянтов; $\Delta m_{g\text{max}} / \Delta t$ — максимально возможная в реальных условиях среды скорость прироста сухой биомассы зерна; K_g — константа Михаэлиса — Ментен; $\tilde{m}_i$ — функционирующая биомасса i -го органа.

В период активного роста вся биомасса является функционирующей, следовательно, прирост общей и функционирующей биомассы одинаков [9]:

$$\Delta \tilde{m}_i^j / \Delta t = \Delta m_i^j / \Delta t \geq 0.$$

При стрессовых условиях (засуха, заморозки, переувлажнение) или естественном старении растения, когда количество общей биомассы вегетативных органов снижается вследствие преобладания процессов распада над процессами синтеза, количество функционирующей биомассы определяется как некоторая доля общей биомассы [9]:

$$-\Delta \tilde{m}_i^j / \Delta t = -\Delta m_i^j / \Delta t K_s,$$

где K_s — параметр, характеризующий долю жизнедеятельных структур и подвижных углеводов в общей биомассе органа.

Динамика ассимилирующей поверхности определяется по формуле:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta \tilde{m}_i^j / \Delta t \cdot 1 / \sigma_i^j,$$

где σ_i — удельная поверхностная плотность листьев, г/м².

Выполним с помощью динамической модели формирования урожая сельскохозяйственных культур (с декадным шагом по времени) расчеты по оценке влияния возможных изменений климата на продуктивность посевов озимой ржи, озимой пшеницы, ярового ячменя и картофеля. Будем рассматривать четыре различных варианта возможного сочетания климатических факторов за теплый период года, включающие (по отношению к климатической норме) как повышение сумм осадков на фоне похолодания, так и уменьшение сумм осадков на фоне потепления:

Варианты	I	II	III	IV
Температура воздуха, °C	−1,0	−0,5	+0,5	+1,0
Осадки, %	+20	+10	−10	−20

С помощью эмпирических зависимостей трансформируем эти варианты сочетания климатических факторов в соответствующие им изменения продолжительности солнечного сияния, средней за светлое время суток температуры воздуха, запасов продуктивной влаги в почве по декадам вегетационного периода. Для каждого варианта численного эксперимента были определены длительность вегетационного и отдельных межфазных периодов каждой культуры. Это позволило в соответствии с изложенной в работе [15] методикой определить параметры, являющиеся важнейшим звеном динамических моделей: онтогенетические кривые фотосинтеза и дыхания, ростовые функции периода вегетативного и репродуктивного роста. Тем самым были учтены возможные адаптивные изменения функций фотосинтеза и дыхания, динамики распределения продуктов фотосинтеза между отдельными органами в зависимости от возможных новых агроклиматических условий возделывания культуры.

Сравнительную оценку результатов численных экспериментов будем давать по отношению к продуктивности посевов, рассчитанной по средним многолетним агрометеорологическим условиям (см. таблицу). Для всех рассматриваемых культур, возделываемых в условиях Белоруссии, которая относится к зоне достаточного увлажнения, возможное увеличение количества осадков на фоне снижения температуры воздуха может привести к снижению продуктивности. Для I варианта численного эксперимента это уменьшение урожайности может достигнуть 10—15 %. Глобальное потепление и ожидаемое при этом уменьшение количества осадков (варианты III и IV) могут обусловить некоторое улучшение агрометеорологических условий возделывания и зерновых культур, и картофеля. Это может вызвать некоторый рост урожая: для зерновых, за некоторым исключением, практически в пределах 5—10, для картофеля — 9—22 %. Можно предположить и некоторое отличие в возможной реак-

**Изменение урожайности сельскохозяйственных культур
для четырех вариантов сочетаний
климатических факторов (%) в условиях Белоруссии**

Варианты сочетаний климатических факторов	Область					
	Витебская	Могилевская	Минская	Гродненская	Брестская	Гомель- ская
Озимая рожь						
I	84	85	84	83	85	86
II	90	90	90	90	91	91
III	103	101	101	102	101	101
IV	110	105	106	108	106	106
Озимая пшеница						
I	86	87	86	86	88	88
II	93	94	92	92	92	94
III	106	102	103	105	103	103
IV	113	106	108	111	108	106
Яровой ячмень						
I	84	88	88	87	87	88
II	94	96	96	95	96	97
III	109	105	106	107	102	104
IV	116	110	111	112	107	109
Картофель						
I	90	90	91	92	91	88
II	97	96	97	98	97	94
III	114	109	109	111	109	105
VI	122	114	114	118	114	109

ции отдельных сельскохозяйственных культур на ожидаемое изменение агроклиматических условий возделывания. Так, ожидаемое потепление может привести к более высокому приросту урожая картофеля по сравнению с зерновыми культурами.

Описанный эффект прироста урожая получен в численном эксперименте при изменении средних многолетних значений температуры воздуха и осадков в теплое время года. Можно согласиться с мнением [5], что ожидаемое при глобальном потеплении уменьшение годовых сумм осадков в сельскохозяйственных районах приведет к изменению их годового ритма и заметной межгодовой изменчивости, что, по-видимому, будет иметь своим следствием учащение засушливых явлений. В этом случае небольшие изменения годовых сумм осадков не гарантируют от засушливых явлений в период вегетации сельскохозяйственных культур. Изучение этих вопросов может составить основу будущих исследований.

Список литературы

1. Hayes J. T. // Int. Journ. Biometeor. 1982. V. 26. № 3. P. 239.
2. National research council: Climate and Food: Climate fluctuation and U. S. agricultural production. National Academy of Sciences. Washington, 1976.
3. Pavlath Attila E., Caldwell Kathryn A., Kroht John M. // Chem. Technol. 1975. № 8. P. 452.

4. Wigloy T. M. P. // Journ. Din and appl. meteorol. 1983. № 11. P. 1831.
5. Менжулин Г. В., Савватеев С. П. // Тр. ГГИ. 1981. Вып. 271. С. 90.
6. Горбачев В. А. // Тр. ВНИИСХМ. 1981. Вып. 4. С. 32.
7. Павлова В. Н., Сиротенко О. Д. // Тр. ВНИИСХМ. 1985. Вып. 10. С. 81.
8. Базилевич Н. И., Вилкова Л. П., Тарко А. М. // Проблемы эколог. мониторинга и моделирование экосистем. 1982. С. 181.
9. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л. 1983. С. 175.
10. Monsi M., Sakki T. // Jap. Journ. Bot. 1953. № 14. P. 22.
11. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л., 1977. С. 200.
12. Gurry R. B. // Development of a model. Trans. ASEA. 1971. V. 14. № 5.
13. Росс Ю. К. // Фитоактинометрические исследования растительного покрова. Таллин, 1967. С. 64.
14. Галямин Б. П. // Биолог. системы в земледелии и лесоводстве. М., 1974. С. 70.
15. Полевой А. Н. Методическое пособие по разработке динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Л., 1981. С. 39.

УДК 551.79.793(476.1)

М. Е. КОМАРОВСКИЙ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О КОРЧЕВСКИХ МЕЖЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МИНСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Отложения корчевского межледникового на территории Минской возвышенности впервые выделены в начале 80-х гг. [1]. Однако до сих пор сведения об этих образованиях оставались довольно скудными. В ходе изучения антропогенной толщи этого региона по корчевским слоям получены новые геологические и палеоботанические материалы, которые и анализируются в данной работе.

В пределах Минской возвышенности корчевские межледниковые отложения залегают в нижней части антропогенного разреза на наревской морене, а также в образованиях девона, мела и неогена. Поверхность подстилающих пород находится на отметках 38—129 м и имеет довольно сложный рельеф. В структуре этого погребенного рельефа в

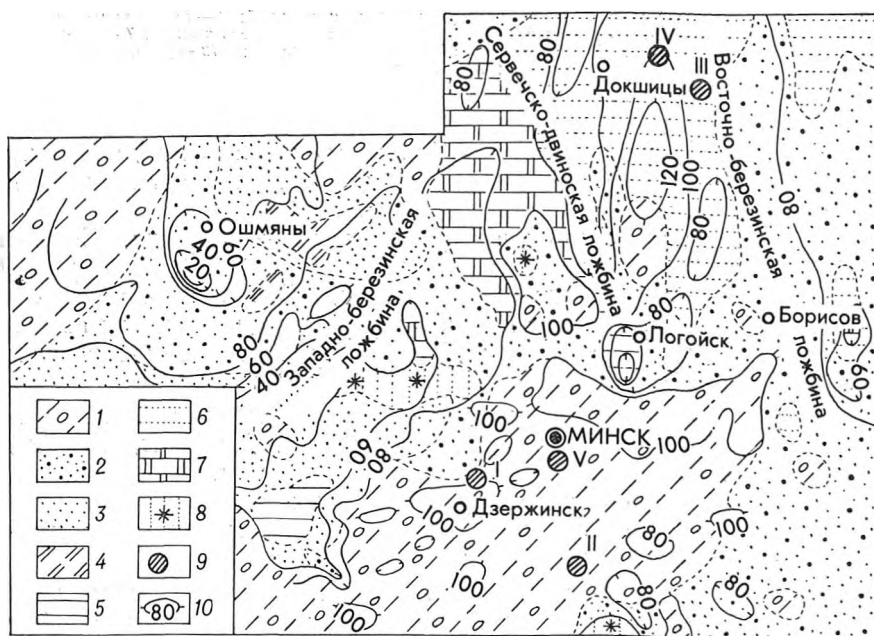


Рис. 1. Карта поверхности наревского горизонта:

1 — моренные супеси; 2 — разнородные пески; 3 — тонкие пески; 4 — супеси тонкие; 5 — глины; 6 — девонские пески; 7 — доломиты и известняки; 8 — глауконито-кварцевые пески; 9 — обозначения скважин, вскрывших корчевские межледниковые отложения (I — Дубеницы, II — Уляны, III — Березино, IV — Осиновщина, V — Мачулищи); 10 — изогипсы рельефа