

УДК 504.53

Агроэкологическая оценка почв и условий формирования урожая озимой пшеницы в Северо-Западном Причерноморье

Флорья Л.В. Lyudmila_Florya@mail.ru

*Одесский государственный экологический университет
65016, Украина, г. Одесса, ул. Львовская, д. 15*

Копыльцова С.Е. svkopyltsova@yandex.ru

*Университет ИТМО
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

В исследовании используется адаптированная и модифицированная модель оценки влияния агрометеорологических условий на формирование урожая сельскохозяйственных культур А.М. Полевого применительно к культуре озимой пшеницы в Северо-Западном Причерноморье. Определены параметры модели и влияние агроэкологических условий на урожайность данной культуры. Выполнена оценка агроклиматических ресурсов Северо-Западного Причерноморья в период с 1980 по 2010 гг. для всех агроэкологических категорий урожайности (потенциальная, метеорологически возможная, действительно возможная урожайность, урожай в производстве) относительно озимой пшеницы, а также оценка уровня загрязнения почв тяжелыми металлами и их влияние на урожайность данной культуры. Определены оптимальные и допустимые агроэкологические условия произрастания озимой пшеницы в Северо-Западном Причерноморье, а также риски, которые могут привести к снижению урожайности и ухудшению качества продукции и сырья. Сделаны выводы о соответствии почв Северо-Западного Причерноморья (черноземов южных и обычных) нормативам агроэкологических условий выращивания сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: озимая пшеница, агроэкологические категории урожайности, агроэкологические показатели почв, тяжелые металлы, Северо-Западное Причерноморье.

Agroecological assessment of soil and conditions of the winter wheat crop formation in the North-West Black Sea region

PhD student **Floria L.V.** Lyudmila_Florya@mail.ru

*Odessa State Environmental University
65016, Ukraine, Odessa, Lvovskaya str., 15*

Senior lecturer **Kopyltsova S.E.** svkopyltsova@yandex.ru

*ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

An adapted and modified A.M. Polevoj model of the impact assessment of agrometeorological conditions on the formation of crop yield applied to the winter wheat in North-West Black Sea region is used

in the research. The parameters of the model and the impact of agroecological conditions on the winter wheat yield were defined. The evaluation of agroclimatic resources of the North-West Black Sea region in the period from 1980 to 2010 for agroecological productivity categories (potential, meteorologically possible, really possible and economic productivity) as well as the assessment of heavy metals' soil contamination and its influence on the winter wheat yield were made. The optimal and permissible agroecological conditions of winter wheat growth in the North-West Black Sea region as well as the risks that can lead to lower yields and poor quality products and raw materials were defined. To conclude that the soils of the North-West Black Sea region (southern and conventional chernozem) are complied with the standards of agro-ecological conditions for agricultural crops cultivation.

Keywords: winter wheat, agroecological categories of yield, agroecological indicators of soil, heavy metals, North-West Black Sea region.

Продуктивность сельскохозяйственных культур определяется степенью соответствия климатических условий биологическим особенностям культур и агротехнике их возделывания. Наиболее высокая урожайность достигается при максимально полном использовании растением климатических ресурсов.

Агроэкологическая оценка условий формирования урожайности сельскохозяйственных культур остается важной задачей, стоящей перед сельским хозяйством. На современном этапе социально-экономического развития Украины возрастает актуальность подобных исследований с учетом региональных и локальных особенностей отдельных территорий.

Озимая пшеница является основной продовольственной культурой Северо-Западного Причерноморья. Поэтому усовершенствованию отдельных элементов технологии ее выращивания постоянно уделяется внимание. Несмотря на это урожайность озимой пшеницы сильно колеблется по годам, что негативно сказывается на стабильности валового сбора зерна.

Исследованиями установлено, что для повышения продуктивности посевов большое значение имеет дифференцированное применение элементов технологии выращивания озимой пшеницы в зависимости от погодных условий. Особое внимание уделяется изучению эффективности применения весенней азотной подкормки посевов и обработки их регуляторами роста в зависимости от сроков вегетации. Это связано с неодинаковой реакцией растения на время возобновления весенней вегетации, что и влияет на процесс формирования продуктивности посевов.

Целью данного исследования является проведение агроэкологической оценки почвы и оценки производительности формирования урожая озимой пшеницы на территории Северо-Западного Причерноморья за период 1980–2010 гг. с помощью базовой модели оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур А.М. Полевого.

Методы и результаты исследования. В основу исследования положено определение величины различных агроэкологических категорий урожайности озимой пшеницы с учетом внесенных модификаций и привлечением более полной информации.

На основании средних многолетних метеорологических и агрометеорологических данных [1] и с помощью базовой агроклиматической модели продуктивности сельскохозяйственных культур А.Н. Полевого [2–4], были проведены расчеты урожайности озимой пшеницы Ананьевского района Северо-Западного Причерноморья. В этой модели используется концепция Х.Г. Тооминга [5] о потенциальной и действительно возможной урожайности, а также положение о моделировании влияния факторов внешней среды на урожайность сельскохозяйственных культур.

Потенциальная урожайность (ПУ) представляет собой урожайность, которая обеспечивается приходом энергии фотосинтетически активной радиации (ФАР) при оптимальных значениях климатических факторов, а метеорологически возможная урожайность (МВУ) – это урожайность, определяемая потенциальной урожайностью и лимитирующим действием режима климатических факторов в течение вегетации. При формировании действительно возможной урожайности (ДВУ) ее уровень ограничивается уровнем естественного плодородия почвы. Уровень хозяйственной урожайности (УП) лимитируется уровнем культуры земледелия.

Расчет этих четырех характеристик в несколько модифицированном виде составляет основу данной модели, ориентированной на оценку продуктивности агроклиматических ресурсов применительно к возделыванию озимой пшеницы, а также на оценку изменения продуктивности растений при возможных изменениях климата.

В основе модели лежит оценка уровня потенциальной урожайности:

$$ПУ^{j+1} = ПУ^j + \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t}$ – прирост потенциальной урожайности за декаду, $г/м^2 \cdot дек$; j – номер расчетной декады.

Приращение потенциальной урожайности за декаду определяется в зависимости от интенсивности ФАР и биологических особенностей культуры с учетом изменения способности растений к фотосинтезу в течение вегетации:

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_{\phi}^j \frac{\eta Q_{\text{фар}}^j dv^j}{q}, \quad (2)$$

где α_{ϕ} – онтогенетическая кривая фотосинтеза; η – КПД посевов, отн. ед.; $Q_{\text{фар}}$ – сумма ФАР за один день расчетной декады, $\text{кДж/см}^2 \cdot \text{сут.}$; dv – число дней в расчетной декаде, сут.; q – калорийность, кДж/г .

Прирост метеорологически возможной урожайности представляет собой прирост потенциальной урожайности, который будет ограничен влиянием влаготемпературного режима:

$$\frac{\Delta \text{МВУ}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{ПУ}^j}{\Delta t} \text{FTW}_2^j, \quad (3)$$

где FTW_2 – обобщенная функция влияния влаготемпературного режима, отн. ед.

Формирование действительно возможной урожайности общей биомассы ограничивается уровнем естественного плодородия почвы:

$$\frac{\Delta \text{ДВУ}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{МВУ}^j}{\Delta t} B_{\text{пл}} F_{\text{Гум}}, \quad (4)$$

где $\frac{\Delta \text{ДВУ}}{\Delta t}$ – прирост действительно возможной урожайности за декаду, г/м^2 ; $B_{\text{пл}}$ – балл почвенного бонитета, отн. ед.; $F_{\text{Гум}}$ – функция влияния содержания гумуса в почве, отн. ед.

Получение уровня хозяйственной урожайности ограничивается реально существующим уровнем культуры земледелия и эффективностью внесенных минеральных и органических удобрений:

$$\frac{\Delta \text{УП}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{ДВУ}^j}{\Delta t} k_{\text{земл}} \text{FW}_{\text{ef}}^j, \quad (5)$$

где $\frac{\Delta \text{УП}^j}{\Delta t}$ – прирост урожайности в производстве, $\text{г/м}^2 \cdot \text{дек.}$; $k_{\text{земл}}$ – коэффициент, который характеризует уровень культуры земледелия и хозяйственной деятельности, отн. ед.; FW_{ef} – функция эффективности внесения органических и минеральных удобрений в зависимости от условий влагообеспеченности декад вегетации, отн. ед.

В качестве иллюстрации работы модели рассмотрим рассчитанные значения динамики приростов урожайности – ПУ, МВУ, ДВУ и УП озимой пшеницы в Ананьевском районе Северо-Западного Причерноморья (см. рис.).

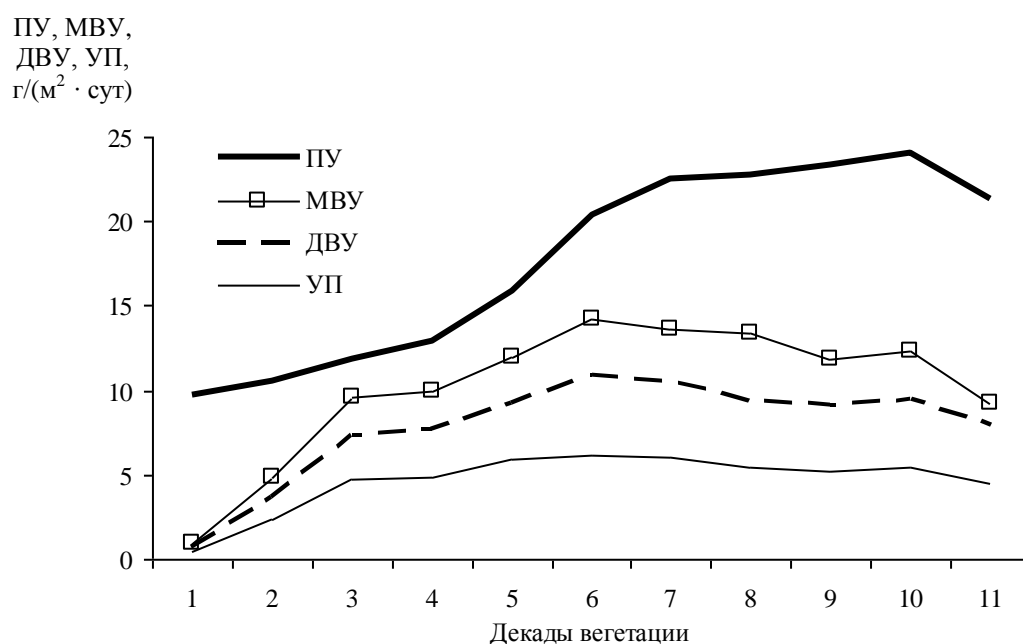


Рисунок – Динамика декадных приростов ПУ, МВУ, ДВУ и УП за вегетационный период Северо-Западного Причерноморья

Прирост потенциальной урожайности (ПУ) в Ананьевском районе в первой декаде вегетации озимой пшеницы составляет 9,7 г/(м² · сут.). В период нижний узел соломинки – колошение кривая стремительно растет и значение прироста увеличивается до 22,7 г/(м² · сут.). Период колошение – молочная спелость отмечен плавным ходом кривой с увеличением приростов до максимального 24,1 г/(м² · сут.). После наступления фазы молочная – восковая спелость уровень приростов ПУ начинает уменьшаться и к концу вегетации составляет 21,3 г/(м² · сут.).

Комплексное воздействие основных метеорологических факторов отражает метеорологически возможная урожайность, которая является интегральной характеристикой агрометеорологических ресурсов. Значения МВУ, определенные методом динамического моделирования, интегрируют не только различные метеорологические факторы, но и последовательность их совместного изменения в течение вегетации.

В начальный период вегетации озимой пшеницы прирост МВУ составляет 1,0 г/(м² · сут.). На протяжении всей фазы восстановления вегетации – нижний узел соломинки наблюдается ее плавный рост, достигающий максимума 14,2 г/(м² · сут.) в середине фазы нижний узел соломинки – колошения. Затем кривая прироста МВУ плавно снижается и в межфазный период колошения – цветения составляет 11,8 г/(м² · сут.). В период фазы цветения – молочная спелость возрастает до 12,3 г/(м² · сут.), но в конце вегетационного цикла резко снижается до 9,2 г/(м² · сут.).

Величина прироста ДВУ в Северо-Западном Причерноморье начинается с отметки 0,7 г/(м² · сут.) и достигает максимума 10,9 г/(м² · сут.) в первой половине периода нижний узел соломинки – колошение. С этого момента, и на протяжении всех межфазных периодов, до конца вегетационного цикла наблюдается плавный ход кривой приростов ДВУ со снижением значений до 7,9 г/(м² · сут.).

Динамика приростов урожая в производстве (УВ) отмечается следующими особенностями: кривая прироста УВ начинается с отметки 0,5 г/(м² · сут.), резко возрастая в следующих двух декадах до 4,7 г/(м² · сут.). Затем, плавно поднимаясь, достигает максимума 6,2 г/(м² · сут.) в межфазное период нижний узел соломинки – колошение. После этого кривая плавно снижается и до конца вегетационного периода уровень УВ уменьшается до 4,5 г/(м² · сут.).

В качестве примера в таблице ниже приведена оценка агроэкологических условий произрастания озимой пшеницы. Критерии оценки взяты из [6].

Таблица

Оценка агроэкологических условий произрастания озимой пшеницы

Показатель	Значения для Ананьевского района	Условия*
Мощность гумусированного слоя, см	85–90	о
Гранулометрический состав**	2–3	о
Плотность сложения, г/см ³	1,1–1,2	о
Реакция почвенного раствора, рН	7,5	о
Содержание гумуса, %	3,59	о
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	74	д
Содержание обменного калия, мг/кг	141	о
Содержание азота, мг/кг	24,4	о
Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг: - свинец (ПДК = 30,0 мг/кг)	8,9	о

- кадмий (ПДК = 3,0 мг/кг)	0,11	о
- марганец (ПДК = 50,0 мг/кг)	26,4	о
- цинк (ПДК = 1,5 мг/кг)	0,29	о
- медь (ПДК = 3,0 мг/кг)	4,7	д
- кобальт (ПДК = 5,0 мг/кг)	6,1	д
- ртуть (ПДК = 2,1 мг/кг)	0,04	о
Сумма активных температур выше 5 °С, °С	1308	о
Температура воздуха при появлении всходов, °С	13,6	о
Температура воздуха при формировании генеративных органов, °С	17,9	о
Запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см при появлении всходов, мм	21	д
Запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см при цветении или формировании генеративных органов, мм	70	д
Гидротермический коэффициент за период с температурой воздуха более 10 °С	1,3	д

Примечание: * о – оптимальные, д – допустимые, н – недопустимые условия;
 ** 1 – глина легкая, 2 – суглинок тяжелый, 3 – суглинок средний, 4 – суглинок легкий, 5 – супесь, 6 – песок.

Мощность гумусированного слоя почв является определяющим условием развития корневых систем, географии современного земледелия и продуктивности растений [6]. В Северо-Западном Причерноморье, занятом преимущественно черноземами, мощность гумусированного слоя составляет 85–90 см. Следовательно, можно констатировать, что по мощности корнеобитаемого слоя почв Северо-Западное Причерноморье является благоприятным для возделывания озимой пшеницы.

Гранулометрический состав – фундаментальная характеристика почвы, определяющая ее физико-химические, водно-физические и физико-механические свойства. С ним связаны поглотительная способность почв, их гумусированность, насыщенность питательными веществами для растений, возможность и скорость окультуривания почв, эффективность применения удобрений. Поэтому среди природных свойств почвы гранулометрическому составу принадлежит одна из важнейших ролей в формировании урожая [6, 7]. Почвы Северо-Западного Причерноморья имеют оптимальные условия для выращивания озимой пшеницы.

Плотность сложения – величина достаточно изменчивая, зависящая как от природных свойств почвы, так и от культурного состояния (пашня, залежь, целина). Из природных свойств на величину объемной массы в первую очередь влияют гранулометрический и минералогический состав почв [7].

В Северо-Западном Причерноморье общую площадь составляют почвы с плотностью сложения 1,1–1,2 г/см³, что характерно для черноземов. Если сравнивать

параметры экологических условий урожайности с данными таблицы, можно сказать, что для почв Северо-Западного Причерноморья характерны оптимальные условия выращивания озимой пшеницы.

Большое значение в жизни растений имеет реакция почвенного раствора (рН). Этот показатель содержит растворы различных соединений и находится в постоянном взаимодействии с твердой и газообразной фазами почвы и корнями растений [6]. Исходя из данных таблицы, можно сказать, что Северо-Западное Причерноморье является оптимальной зоной для выращивания озимой пшеницы.

Гумус – сложный динамический комплекс органических соединений, который образуется в результате разложения и гумификации остатков растительного и животного происхождения. Гумус является основным резервом накопления в почве азота, фосфора, калия, серы, кальция, магния и других элементов питания [7]. В Северо-Западном Причерноморье содержание гумуса находится в оптимальном диапазоне.

Обеспеченность почвы основными элементами питания является бесспорным и необходимым условием при выращивании любых сельскохозяйственных культур и одной из составляющих механизма естественного плодородия почвы. Подвижный фосфор – один из главных показателей почвенного плодородия. С этим элементом тесно связано развитие корневой системы, ее активная поглощающая способность в отношении влаги и питательных веществ, нуклеиновый обмен, интенсивность фотосинтеза, продуктивность растений. Калий участвует в углеводном и водном обмене, положительно влияет на фотосинтез, накопление сахаров и повышает устойчивость растений к неблагоприятным погодным условиям [8]. Исходя из данных таблицы, можно утверждать, что территория Северо-Западного Причерноморья имеет оптимальные или допустимые условия для выращивания озимой пшеницы.

В последние 10–15 лет одним из важных факторов, определяющих продуктивность культурных растений и качество урожая, является техногенный пресс на агроэкосистемы. Промышленными предприятиями Украины ежегодно в атмосферу выбрасывается около 16 млн т вредных веществ. К числу наиболее агрессивных из них относятся тяжелые металлы [9].

Анализ данных, характеризующих содержание в почвах Северо-Западного Причерноморья Pb, Cd, Mn, Zn, Cu, Co, Hg, свидетельствуют о следующем: допустимые условия для развития озимой пшеницы складываются при содержании в почвах меди и кобальта, значения которых незначительно превышают предельно допустимые концентрации (ПДК); оптимальные – для остальных металлов, приведенных в таблице, их содержание в почве не превышает ПДК.

Есть случаи выявления почв со сверхвысоким содержанием меди. В основном это земли, которые граничат с садами и виноградниками или ранее были заняты ими. Превышение нормативного содержания меди в таких почвах свидетельствует о

нерегламентированном использовании препаратов содержащих медь и нарушении общих правил безопасности при работе с ними.

На качество почв и формирования сельскохозяйственных урожаев влияют метеорологические условия, к которым относят тепло- и влагообеспеченность. Существенной характеристикой теплового режима территории относительно выращивания сельскохозяйственных культур является продолжительность теплого периода в течение года в целом и в вегетационный период в частности. Период вегетации озимой пшеницы ограничивается переходами среднесуточной температуры через 5 °С. Так, для озимой пшеницы требуется теплый период не более 1700 °С [7]. Нормирование этого показателя по отношению к озимой пшенице Северо-Западного Причерноморья свидетельствует о том, что в возделывании эта культура не имеет ограничений.

В процессе своего развития растения проходят два основных периода, связанные с формированием генеративных органов – корней, стебля, листьев и образованием генеративных органов – соцветия, цветов, плодов, семян. По В.Н. Степанову (1976) оптимальной температурой воздуха для формирования генеративных органов озимой пшеницы является температура 16–20 °С, а минимальной 10–12 °С [6]. В соответствии с этим на территории Северо-Западного Причерноморья отмечается оптимальная температура для развития озимой пшеницы.

Влагообеспеченность является вторым важным климатическим фактором в жизни растений. Наиболее интенсивное накопление биомассы происходит в условиях достаточной влагообеспеченности, но урожайность падает практически до нуля в условиях резкой недостаточности влаги или при ее избытке [7]. На территории Северо-Западного Причерноморья многолетние запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см под озимой пшеницей колеблются в пределах 19–22 мм и оцениваются как допустимые. В период формирования генеративных органов под озимыми культурами также характерно недостаточное увлажнение.

Охарактеризуем условия увлажнения территории Северо-Западного Причерноморья за гидротермическим коэффициентом (ГТК) за период с температурами воздуха выше 10 °С. Показатель ГТК входит в диапазон от 1,0 до 1,3 – это засушливые условия, однако такие условия оптимально-допустимые для выращивания сельскохозяйственных культур Северо-Западного Причерноморья, в частности озимой пшеницы.

На основе результатов исследования условий формирования урожая озимой пшеницы и агроэкологической оценки в Северо-Западном Причерноморье можно сделать выводы:

1. Максимальные приросты ПУ, МВУ, ДВУ и УП озимая пшеница формирует в фазу нижний узел соломинки – колошение, до восковой спелости приросты урожайности плавно, но незначительно уменьшаются.

2. Повышение уровня урожая озимой пшеницы и доведения его до максимального требует тщательного соблюдения всех средств агротехники, выполнения их в полном соответствии с агрометеорологическими условиями. Это является первоочередной задачей программирования максимальных урожаев, направленного на устранение действия различных хозяйственных факторов.

3. Почвы Северо-Западного Причерноморья характеризуются оптимальными условиями по агрофизическим, физико-химическим и метеорологическим показателям, которые могут обеспечить получение высоких урожаев. Условиями, которые могут привести к снижению урожайности и ухудшению качества продукции и сырья, являются недостаточное увлажнение и содержание тяжелых металлов, значения которых превышают ПДК.

В целом, агроэкологические показатели почв (черноземов южных и обычных) в соответствии с нормативами агроэкологических условий выращивания сельскохозяйственных культур, создают оптимальные и допустимые условия.

Список литературы

1. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т.І. Адаменко, М.І. Кульбіді, А.Л. Прокопенка. – Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза Р.С., 2011. – 108 с.
2. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – СПб.: Гидро-метеоиздат, 1992. – 424 с.
3. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: навчальний посібник / А.М. Польовий. – К.: КНТ, 2007. – 348 с.
4. Полевой А.Н. Базовая модель оценки агроклиматических ресурсов формирования продуктивности сельскохозяйственных культур. /В сб.: Метеорология, климатология и гидрология. № 48. 2004. – С. 195-205.
5. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 264 с.
6. Агроэкологическая оценка земель Украины и размещение сельскохозяйственных культур / Под ред. В.В. Медведева. – К.: Аграрная наука, 1997. – 162 с.
7. Онищук В.П., Голубченко В.Ф., Капустіна Г.А., Цандур М.О. Агрохімічний стан ґрунтів Одеської області і шляхи його поліпшення. Довідкове видання / Під ред. Онищука В.П. – Одеса: СМІЛ, 2007. – 52 с.

8. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – К.: Наукова думка, 2002. – 214 с.

9. Кулиджанов Г.В. Экологическое состояние почвенного покрова Одесской области // Агроекологічний журнал. 2010. № 4. – С. 60–64.