

Горбачова Л.О.

УДК 556.06

**ОЦІНКА МОЖЛИВИХ МАЙБУТНІХ ЗМІН ВОДНОГО СТОКУ РІЧОК УКРАЇНИ
(НА СЕРЕДИНУ ХХІ СТОЛІТТЯ)**

Анотація. У статті виконано дослідження можливих майбутніх змін водного стоку річок України за даними чотирьох регіональних кліматичних моделей, а саме REMO/ECHAM5, RCA3-E/ECHAM5, RCA3-B/BCM, RRCM/HadCM3Q0 для сценарію A1B на основі базового (1991-2010 рр.) та прогнозного (2031-2050 рр.) періодів. Для дослідження було залучено 31 басейн, які добре характеризують умови формування водного стоку річок на всій території України. Очікувані зміни середньорічного стоку води річок України на середину ХХІ століття найвірогідніше будуть перебувати в межах природних коливань водності.

Ключові слова: середньорічний стік, регіональні кліматичні моделі, гідрологічне моделювання, водно-балансовий метод, ансамблевий підхід

Аннотация. В статье выполнено исследование возможных будущих изменений водного стока рек Украины по данным четырех региональных климатических моделей, а именно REMO/ECHAM5, RCA3-E/ECHAM5, RCA3-B/BCM, RRCM/HadCM3Q0 для сценария A1B на основе базового (1991-2010 гг.) и прогнозного (2031-2050 гг.) периодов. Для исследования использовано 31 бассейн, которые хорошо характеризуют условия формирования водного стока рек на всей территории Украины. Ожидаемые изменения среднегодового стока воды рек Украины к середине XXI столетия вероятнее всего будут находиться в пределах природных колебаний водности.

Ключевые слова: среднегодовой сток, региональные климатические модели, гидрологическое моделирование, водно-балансовый метод, ансамблевый подход

Summary. In this article the possible future changes of average annual runoff rivers of Ukraine for data four regional climate models, namely REMO/ECHAM5, RCA3-E/ECHAM5, RCA3-B/BCM, RRCM/HadCM3Q0 and scenario A1B was researched. These models have the best verification of the rainfall for territory Ukraine. The periods 1991-2010 and 2031-2050 accordingly as basic and forecast are used. For researches were involved 31 basins river, which is good characterize the conditions of the forming runoff of Ukraine Rivers. The modeling and getting of projections average annual runoff carried out using hydrological models module NAM Rainfall-Runoff of modeling computer complex Mike 11 (Denmark, DHI) for watersheds Mountain Rivers and water-balance method for all catchments. It turned out that for these two methods was received similar results. First for prospective assessments of average annual runoff rivers of Ukraine was applied the ensemble approach which allowed to obtain more reliable estimates. The expected changes of average annual runoff rivers of Ukraine to middle XXI century for data of regional climate models (REMO, RCA3-E, RCA3-B, RRCM) for scenario of society development A1B with respect to the base period 1991-2010 most likely will be in the range of natural fluctuations runoff. The average annual runoff of Mountain Rivers of Crimea and Kalmius rivers basin can have a slight increase (up to 2-4 %). On the rivers of Polesse the average annual runoff may increase to 10%. The average annual runoff of Carpathian Rivers and rivers of the northern part Ukraine will not change. On other rivers the average annual runoff can increase insignificantly.

Keywords: average annual runoff, regional climate models, hydrological modeling, water-balance method, ensemble approach

Актуальність дослідження. На сучасному етапі розвитку цивілізації, який характеризується стрімким ростом кількості населення на земній кулі і, відповідно, збільшенням навантаження на природні ресурси Землі, питання раціонального використання та забезпечення населення і галузей господарства водою стають дуже актуальними для всіх країн світу. Особливого значення ці питання набули в останні 20-30 років внаслідок підвищення в цей період приземної температури повітря, яка за даними багатьох дослідників призвела до суттєвих змін водних ресурсів [1-3]. Україна - одна з європейських країн, яка найменш забезпечена водою і, саме тому, зміни водних ресурсів країни в сторону зменшення або збільшення безпосередньо відібраються на її економічному та соціальному розвитку.

Аналіз останніх досліджень. У світі найбільш розповсюдженим напрямком досліджень впливу змін клімату на водні ресурси внаслідок глобального потепління є використання глобальних та регіональних проєкцій моделей загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) в якості вхідних даних у гідрологічну модель. Незважаючи на те, що дослідженням можливих майбутніх змін водного режиму річок у світі присвячена велика кількість наукових публікацій, в Україні даному питанню приділяється не зовсім належна увага. Так, перспективні оцінки змін водних ресурсів України проведено всього у декількох працях [4-6]. Дослідженнями впливу змін клімату на водні ресурси за даними проєкцій загальних моделей циркуляції атмосфери та океану займалися Шерешевський А.І. та ін., Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Плюнтке Т. та ін., Сніжко С.І. та ін. [4-6], а також наша робота Горбачова Л.О. та ін. [7]. Аналіз цих праць показав, що оцінки стосовно проєкцій змін водного стоку річок України, які отримані в різні часи різними авторами мають значну невизначеність. У більшості досліджень не приділяється належна увага обґрунтованості методичних підходів, які застосовуються при оцінках до річок України. Отже, існуючих результатів досліджень можливих змін водних ресурсів в Україні впродовж ХХІ століття внаслідок потепління клімату за рахунок викидів парникових газів замало для отримання ґрунтовних висновків та визначення можливих тенденцій. Актуальною задачею залишається як розробка методичних підходів щодо оцінки можливих майбутніх змін водних ресурсів за даними МЗЦАО, так і удосконалення самих МЗЦАО.

Метою роботи є прогнозне моделювання середньорічного стоку води за даними регіональних кліматичних моделей (РКМ) на основі сценарію A1B зміни кліматичних умов в Україні до 2050 р. та розробка методичних підходів для отримання більш змістовних та достовірних результатів.

Таблиця 1. Показники якості моделювання історичних середньомісячних витрат води модулем NAM RR Mike 11

Річка-пункт	Період	$\overline{S} / \overline{\sigma}$	R	$\delta_{доп}, \%$
р. Стрий – смт Верхне Синьовидне	1998-2000	0,36	0,94	94,5
	1991-2010	0,47	0,91	84,9
р. Ріка – смт Міжгір'я	2007-2009	0,45	0,90	86,5
	1991-2010	0,36	0,94	93,8
р. Уж – м. Ужгород	2007-2009	0,53	0,84	79,8
	1991-2010	0,54	0,86	78,9
р. Прут – м. Яремча	2004-2006	0,32	0,95	96,3
	1991-2010	0,44	0,90	87,4
р. Сірет – м. Сторожинець	2004-2006	0,33	0,95	95,7
	1991-2010	0,45	0,91	86,5

Приклад результатів історичного моделювання для деяких водозборів річок наведено на рис. 2. Отже, виконана адаптація модуля NAM RR Mike 11 до водозборів річок надалі дозволяє виконати прогнозне моделювання з використанням даних моделей загальної циркуляції атмосфери та океану, що дозволить отримати оцінки можливих майбутніх змін водних ресурсів.

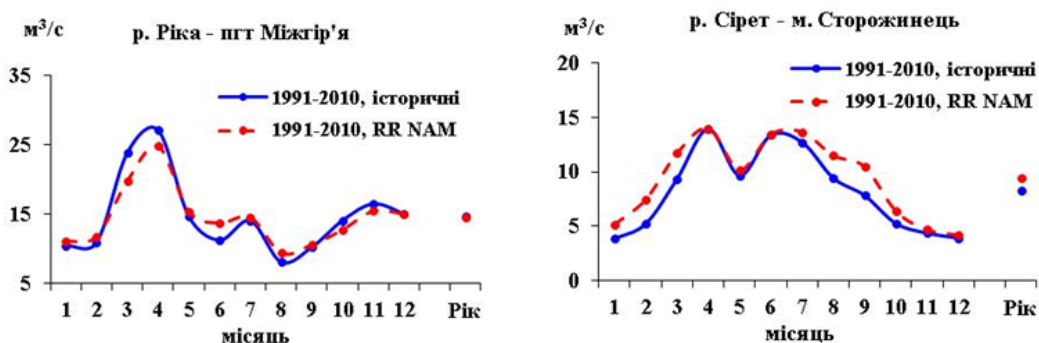


Рис. 2. Середні багаторічні гідрографи водного стоку, які отримано за даними спостережень та результатів моделювання модулем NAM RR Mike 11 за період 1991-2010 рр.

Для оцінки перспективних змін водного стоку річок водно-балансові співвідношення використовувалися наступним чином. Спочатку для кожного репрезентативного водозбору річки за даними спостережень (1961-2010 рр.) визначалися взаємозв'язки між шаром стоку (h , мм), опадами (P , мм) та випаровуванням (E , мм) за рівняннями [5]

$$h = P - mE, (1)$$

$$h = \alpha P, (2)$$

де α – коефіцієнт стоку;

m – коефіцієнт редукції шару стоку як функція зміни випаровування, що визначається за формулою [5]

$$m = \frac{P - h}{E}. (3)$$

Зрозуміло, що значення коефіцієнта редукції повинно дорівнювати одиниці, щоб виконувалося рівняння (1).

Потім, методом множинної регресії визначалася лінійна залежність між випаровуванням (E , мм), опадами (P , мм) та температурою повітря (T , °C), яка описується рівнянням [5]

$$E = a + bP + cT, (4)$$

де a – вільний член;

b, c – коефіцієнти регресії.

Саме залежності (2) та (4) використані для визначення можливого майбутнього водного стоку води.

Для кожного репрезентативного водозбору річки було підготовлено масив даних (температура повітря, опади, випаровування) з вузлів РКМ для періодів 1991-2010 рр. (базовий) та 2031-2050 рр. (прогнозований). Для модуля NAM RR Mike 11 були підготовлені добові дані, а для водно-балансового методу – щомісячні. При використанні даних РКМ застосовується методика додавання до фактичних значень базового періоду прогнозованих змін (різниця між двома періодами). Такий підхід має як переваги, так і недоліки. З одного боку, він дозволяє значно зменшити систематичні помилки РКМ, а з другого, не враховує будь-які інші особливості гідрометеорологічних характеристик, а саме довгоперіодичних циклічних коливань. Отже,

припускається, що для прогнозного періоду (2031-2050 рр.) будуть характерні такі ж самі фази водності як і для базового періоду (1991-2010 рр.). Зауважимо, що таке припущення є досить сумнівним, а оцінки за таким методом умовно «достовірними».

Застосування ансамблевого підходу замість оцінок, що отримані тільки за даними однією або декількох РКМ дозволить отримати більш обґрунтовані оцінки, оскільки усереднення знижує діапазон як значень, так і їхніх похибок, наближуючи, таким чином, проєкції до значення середньорічного стоку води, яке спостерігається на водозборі річки.

При використанні модуля NAM RR Mike 11 для гірських репрезентативних водозборів було виконано прогнозне моделювання стоку води для періоду 1991-2010 рр. за даними трьох РКМ, а саме *REMO/ESHAM5*, *RCA3-E/ESHAM5*, *RCA3-B/BCM*. Створення ансамблю відбувалося на основі розрахунку трьох статистичних характеристик, а саме середнього значення, принципу найбільшої схожості змодельованого і спостереженого гідрографів та коефіцієнтів кореляції між ними. Принцип найбільшої схожості усередненого багаторічного гідрографу, який отримано за результатами моделювання за даними декількох РКМ (ансамблю) до багаторічного гідрографу за даними спостережень здійснювався на основі використанням середньої Евклідової відстані

$$\eta = \frac{1}{12} \sqrt{\sum_{i=1}^{12} (Q_i^N - Q_i^R)^2}, (5)$$

де i – місяць року;

Q_i^N – витрата води в i -му місяці за даними спостережень, м³/с;

Q_i^R – витрата води в i -му місяці змодельована за даними РКМ, м³/с.

Оптимальним визнається той ансамбль для якого отримуються найменші значення середньої Евклідової відстані, найбільші коефіцієнти кореляції та найменша відносна похибка середнього значення.

Аналіз результатів розрахунків, показав, що не завжди для водозборів річок можна скласти ансамбль. Для більшості басейнів річок, виявилось, що зі всіх можливих варіантів як ансамблів, так і РКМ, за статистичними показниками найкращий результат дають дані тільки однієї РКМ, а саме *REMO* (приклад наведено на рис. 3). В таких випадках оцінка перспективних змін середньорічного стоку води виконувалася тільки за результатами моделювання модуля NAM за даними РКМ *REMO*. Крім того, необхідно зазначити, що РКМ недостатньо достовірно відтворюють кліматичні умови формування водного стоку в басейнах річок. Деякі можливі майбутні зміни середньорічного стоку води для басейнів-індикаторів, що отримані з використанням модуля NAM за даними РКМ наведено на рис. 4.

Створення ансамблів для водно-балансового методу виконувалося за результатами верифікації РКМ для території України щодо кількості опадів, а саме було використано дані чотирьох РКМ *REMO/ESHAM5*, *RCA3-E/ESHAM5*, *RCA3-B/BCM*, *RRCM/HadCM3Q0*. Зрозуміло, що в рівняннях (1-4) в якості опадів та температури повітря використані їхні проєкції за РКМ на період 2031-2050 рр. Результати отримано шляхом усереднення.

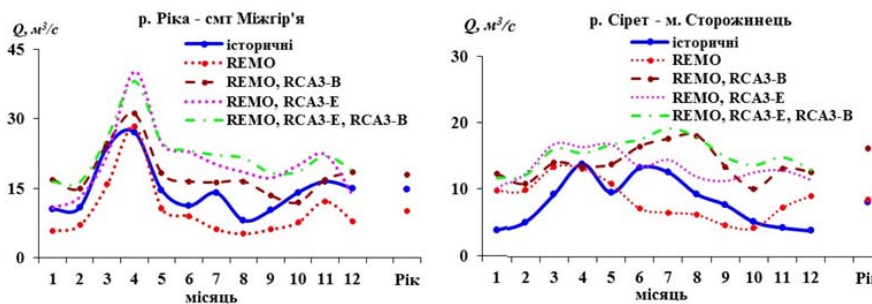


Рис. 3. Середні багаторічні гідрографи водного стоку, які отримано за результатами моделювання модулем NAM RR Mike 11 за даними РКМ, а також за даними спостережень за період 1991-2010 рр.

Для водозборів гірських річок для оцінки перспективних змін середньорічного стоку води було застосовано два методи одночасно, а саме гідрологічний модуль NAM RR Mike 11 та водно-балансового метод, що дозволило виконати порівняльний аналіз отриманих результатів (табл. 2). З табл. 2 видно, що за двома методами отримано близькі результати.

Результати розрахунків за водно-балансовим методом і гідрологічне моделювання модулем NAM RR Mike 11 за даними РКМ (сценарій A1B) дозволили отримати можливі майбутні зміни середньорічного стоку води для репрезентативних водозборів річок України на середину ХХІ століття (рис. 5). Аналіз отриманих результатів показує, що незначне підвищення середньорічного стоку води можна очікувати на гірських річках Криму та в басейні річки Кальміус – до 2-4 %.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз можливих майбутніх оцінок змін середньорічного стоку води деяких річок України на середину XXI століття по відношенню до базового періоду 1991-2010 рр., які отримані різними методами

Метод	Назва РКМ		* $h_{ср.}$, %
	REMO, %	RCA3-B, %	
р. Вишня – с. Твіржа			
Водно-балансовий	-4,45	-	-3,29
NAM RR Mike 11	-2,12	-	
р. Ріка – смт Міжгір'я			
Водно-балансовий	-0,58	0,40	-0,89
NAM RR Mike 11	-1,62	-1,74	
р. Уж – м. Ужгород			
Водно-балансовий	-4,34	-	-5,09
NAM RR Mike 11	-5,83	-	
р. Прут – м. Яремча			
Водно-балансовий	-2,18	4,19	0,22
NAM RR Mike 11	-3,61	2,46	
р. Сірет – м. Сторожинець			
Водно-балансовий	-7,27	-	-8,07
NAM RR Mike 11	-8,87	-	
р. Стрий – смт Верхнє Синьовиднє			
Водно-балансовий	-0,16	-	-0,02
NAM RR Mike 11	0,12	-	
р. Свіж – смт Букачівці			
Водно-балансовий	-3,65	-	-4,58
NAM RR Mike 11	-5,52	-	

* – середня оцінка з двох методів

На деяких річках Полісся можливо підвищення водного стоку до 10 %. Водність Карпатських річок та річок північної частини України не зміниться. На інших річках буде спостерігатися несуттєве зменшення стоку. Найбільше зниження стоку можливо очікувати тільки для річок Причорномор'я. Однак, такі оцінки потрібно розглядати тільки як дуже приблизні внаслідок того, що для цієї території отримана найбільша нев'язка водного балансу (до 30 % і більше), а РКМ гірше ніж для інших територій відтворюють кількісні показники опадів. Можна очікувати змін у внутрішньорічному розподілі стоку річок: підвищення стоку зимової межени, зміщення початку весняної повені на більш ранні строки. Проте, найімовірніше такі отримані зміни обумовленні не зовсім якісним відтворенням РКМ кількісних показників опадів базового періоду в басейнах річок.

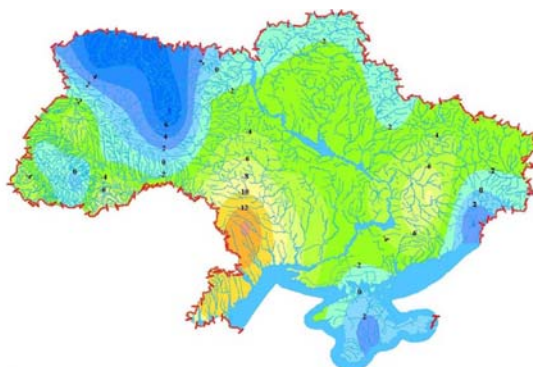


Рис. 5. Можливі майбутні зміни середньорічного стоку води (%) річок України на період 2031-2050 рр. по відношенню до базового періоду 1991-2010 рр. за даними РКМ, сценарій А1В

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, очікувані можливі майбутні зміни середньорічного стоку води річок України на середину XXI століття за даними 4 РКМ (*REMO*, *RCA3-E*, *RCA3-B*, *RRCM*) за сценарієм розвитку суспільства А1В по відношенню до базового періоду 1991-2010 рр. найвірогідніше будуть знаходитися в межах природних коливань водності.

Методичні підходи, які розроблені у роботі щодо оцінки можливих майбутніх змін річкового стоку дозволяють отримувати більш достовірні результати. У подальшому результати роботи можна буде використовувати як для поліпшення стратегічного планування та управління адаптацією до можливих змін водного стоку, так і для виконання інших оцінок.

Джерела та література:

1. Лобода Н. С. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами / Н. С. Лобода, Є. Д. Гопченко // Україна : географічні проблеми сталого розвитку. – К. : ВГЛ Обрії. – 2004. – Т. 3. – С. 144–146.
2. Вишневський В. І. Зміни клімату і річкового стоку на території України і Білорусії / Вишневський В. І. // Наук.праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип. 249. – С. 89–105.
3. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / Гребінь В. В. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с.

4. Україна та глобальний парниковий ефект : вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату // [Букша І. Ф., Гожик П. Ф., Ємельянова Ж. Л., Трофимова І. В., Шерешевський А. І.]. – Київ, Видавництво Агентства з раціонального використання енергії та екології, 1998. – 210 с.
5. Глобальные и региональные изменения климата [сб. науч. трудов]. – К.: Ника-Центр, 2011. – С. 340 – 351.
6. Сніжко С. Оцінка можливих змін водних ресурсів місцевого стоку в Україні в ХХІ столітті / С. Сніжко, М. Яцюк, І. Купріков та ін. // Водне господарство України. – 2012. – № 6(102). – С. 8–16.
7. Gorbachova L. O. Forecasted estimations of runoff change in the Dniester Basin under conditions of climate change / L. O. Gorbachova, Yu. B. Nabyvanets // EGU Leonardo 2012, "Hydrology and Society", November 14th – November 16th, Torino, Italy. – 87 с.
8. Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо - та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей // Звіт про НДР (заключний), № д.р. 0112U005845. – К.: УкрНДГМІ, 2012. – 105 с.
9. Горбачова Л. О. Адаптація гідрологічної моделі «опаді-стік» Mike 11 до гірських річок // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2012. – Вип. 263. – С. 71–77.

Дюльгер М.А.

УДК 63:551.58

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ УРОЖАЯ ПОЖНИВНОГО ГОРОХА В УКРАИНЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация. Проведен анализ обеспеченности теплом, светом и влагой возделывания пожнивного гороха на территории Украины в условиях изменения климата. В результате расчетов была получена информация по агроклиматическим условиям формирования четырех агроэкологических категорий урожайности для средних многолетних данных (2005 – 2011гг.) и для основанного на сценарном изменении климата периода 2011 – 2030 гг. По результатам расчетов были определены районы биологически возможного и экономически оправданного выращивания гороха на территории Украины.

Ключевые слова: Пожнивные культуры, агроклиматические ресурсы, вегетационный период, эффективные температуры, фотосинтетически активная радиация (ФАР), ПУ (потенциальный урожай), МВУ (метеорологически возможный урожай), ДВУ (действительно возможный урожай), УП (урожай в производстве), гидротермический коэффициент (ГТК).

Анотация. Проведено аналіз забезпечення теплом, світлом та вологою вирощування пожнивного гороху на території України в умовах зміни клімату. В результаті розрахунків була отримана інформація по агрокліматичним умовам формування чотирьох агроекологічних категорій урожайності для середніх багаторічних даних (2005 – 2011 рр.) та для основаного на сценарній зміні клімату періоду 2011 – 2030 гг. За результатами розрахунків були визначені райони біологічно можливого та економічно виправданого вирощування пожнивного гороху на території України.

Ключові слова: Пожнивні культури, агрокліматичні ресурси, вегетаційний період, ефективні температури, фотосинтетично активна радіація (ФАР), ПУ (потенційний урожай), ММУ (метеорологічно можливий урожай), ДМУ (дійсно можливий урожай), УВ (урожай у виробництві), гідротермічний коефіцієнт (ГТК).

Summary. The analysis of the heat, light and moisture provision of crop cultivation of peas in the territory of Ukraine in the conditions of climate change were made. The calculations had received information on agro-climatic conditions of the four categories of agro-ecological productivity formation: potential yield, meteorologically possible yield, indeed possible yield, yield in production for the average long-term data (2005 - 2011) and based on the scenario climate change, the period 2011 - 2030. To assess changes in agroclimatic resources for possible climate change scenarios were used climate in Ukraine - A1B scenario, the regional climate model MPI-M-REMO. For all administrative regions of Ukraine were made calculations using a basic agroclimatic model of efficiency of agricultural crop of A.N. Polevoy. This model uses the concept of H.G. Tooming of potential and really possible yields. Potential yield (PY) is a yield, which provided energy advent of photosynthetically active radiation (PAR) at the optimum values of climatic factors, and meteorologically possible yield (MPY) - yield, yield potential is determined and limiting the influence of climatic factors regime during the growing season. When forming really possible yield (RPY) its level is limited to the level of natural fertility. Level of production yield is limited by the level of farming. The calculation of these characteristics is the basis of this model, focused on the assessment of productivity of agro-climatic resources in relation to the cultivation of peas, and to evaluate changes in plant productivity at possible climate changes.

On the basis of these calculations the areas of biologically possible and economically viable cultivation of peas in the territory of Ukraine were identified.

Keywords: Crop culture, agro-climatic resources, vegetation period, effective temperature, photosynthetically active radiation (PAR), PY (potential yield), MPY (meteorologically possible yield), IPY (indeed possible yield), YP (yield in production), hydrothermal factor.

Введение. Увеличение производственного потенциала земли при условии сохранения и недопущения ухудшения ее состояния является необходимым условием перехода к устойчивому развитию. Потепление климата в настоящее время позволяет более полно использовать земельные ресурсы с целью получения второго урожая, то есть, урожая пожнивных культур.

Выращивание пожнивных культур способствует более производственному использованию агроклиматических ресурсов (осадки, тепло, свет), увеличивая тем самым интенсификацию земледелия.