

Научная статья

УДК 630.551.582 (083)

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-56-61

Ольга Анатольевна Пасько<sup>1✉</sup>

Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>oap@tpi.ru.

## ЗАВИСИМОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ ОТ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ

Цель исследования – оценка влияния температур и количества осадков в разные фазы развития картофеля на его урожайность и качество продукции. В ходе десятилетних наблюдений (1995–2005 гг.) на сортоиспытательной станции Томской области определены: длительность каждой пяти фенофаз восьми сортов; произведен расчет количества осадков и тепловых ресурсов (суммы всех температур выше 5 °С) для каждой из них. Дисперсионный анализ выявил четкую локализацию только двух групп сортов по скороспелости (ранние и среднеспелые). Корреляционный анализ показал положительную среднюю по силе связь между урожайностью и суммой осадков в фазу развития II, отрицательную – с суммой температур в фазу IV, среднюю отрицательную – между долей крупных клубней в структуре урожая и суммой осадков в фазу IV. Выведена достоверная зависимость урожайности картофеля от суммы осадков в фазу II, суммы температур в фазу IV и поражения фитофторозом. Показана наименьшая продуктивность поздних сортов, формирующих и более мелкие клубни. Урожайность ранних сортов в среднем равна 127,3 ц/га; среднеранних – 156,0; средних – 99 ц/га. Доля крупных клубней в структуре урожая составляет для среднеранних и средних сортов 3,5 %; доля мелких клубней – 82,3 % для ранних сортов, 93,5 % для среднеранних и 96,7 % для средних. Полученные результаты дают количественную оценку ранее описанным в научной литературе закономерностям. Недостаток осадков в начале цветения ведет к максимальным потерям урожая, и значительно слабее эта связь в другие фазы вегетации, когда обезвоживание компенсируется эндогенными запасами влаги в материнских или дочерних клубнях. Отрицательное влияние повышенной температуры во время цветения на урожайность вызывает превращение столонов в надземные побеги, израстание клубней и резкое уменьшение их размеров. Выявлена четкая локализация только двух сортовых групп по скороспелости (ранние и среднеспелые) вместо четырех традиционных, что позволяет оптимизировать агротехнические мероприятия по их выращиванию.

**Ключевые слова:** картофель, фаза развития, урожайность, температура, влажность, статистический анализ

**Для цитирования:** Пасько О.А. Зависимость урожайности картофеля от погодных условий // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 56–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-56-61.

**Благодарности:** автор выражает благодарность доценту Томского государственного университета В.П. Леонову за помощь в подготовке и проведении статистической обработки материала.

Olga Anatolyevna Pasko<sup>1✉</sup>

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup>oap@tpi.ru.

## POTATO YIELD DEPENDENCE ON WEATHER CONDITIONS

The purpose of the study is to assess the influence of temperatures and precipitation in different phases of potato development on its yield and product quality. In the course of ten-year observations (1995–2005) at the variety testing station of the Tomsk Region, the following were determined: the duration of each five phenophases of eight varieties; calculated the amount of precipitation and heat resources (the sum of all

temperatures above 5 °C) for each of them. Analysis of variance revealed a clear localization of only two groups of varieties in terms of early maturity (early and mid-maturing). Correlation analysis showed a positive average in terms of strength between the yield and the amount of precipitation in phase II, negative – with the sum of temperatures in phase IV, an average negative – between the proportion of large tubers in the structure of the crop and the amount of precipitation in phase IV. A reliable dependence of the yield of potatoes on the amount of precipitation in phase II, the amount of temperatures in phase IV and lesions by late blight has been derived. The lowest productivity of late varieties, forming smaller tubers, is shown. The yield of early varieties is on average 127.3 kg/ha; mid-early – 156.0; medium – 99 c/ha. The share of large tubers in the structure of the yield is 3.5 % for medium early and medium varieties; the share of small tubers is 82.3 % for early varieties, 93.5 % amounts for medium early varieties and 96.7 % amounts for medium ones. The results obtained provide a quantitative assessment of the patterns previously described in the scientific literature. Lack of precipitation at the beginning of flowering leads to maximum yield losses, and this relationship is much weaker in other phases of the growing season, when dehydration is compensated by endogenous moisture reserves in parent or daughter tubers. The negative effect of elevated temperature during flowering on productivity causes the transformation of stolons into aerial shoots, overgrowth of tubers and a sharp decrease in their size. A clear localization of only two varietal groups according to early maturity (early and mid-maturing) was revealed instead of four traditional ones, which makes it possible to optimize agrotechnical measures for their cultivation.

**Keywords:** potatoes, development phase, yield, temperature, humidity, statistical analysis

**For citation:** Pasko O.A. Potato yield dependence on weather conditions // Bulliten KrasSAU. 2022;(1):56–61. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-56-61.

**Acknowledgments:** the author is grateful to Associate Professor of Tomsk State University V.P. Leonov for his help in preparing and carrying out material statistical processing.

**Введение.** Картофель характеризуется высокой пластичностью и относительно низкой устойчивостью к экстремальным температурам воздуха [1]; для ранних сортов оптимум составляет +17 °C, для среднеспелых +19 °C [2]. Через 20–25 дней после всходов у большинства сортов начинается фенологическая фаза бутонизации. Она совпадает с клубнеобразованием, для которого оптимальны температуры 18–21 °C [3]. Их превышение ведет к опадению цветков и бутончиков, остановке роста клубней и снижению урожая [4]; снижение – к торможению развития клубней и формирования кожуры [5]. Вопросы влияния погодных условий на урожайность картофеля изучаются, начиная с 60-х гг. XX в., однако описание влияния гидротермических условий различных фенофаз на урожайность и структуру урожая картофеля в доступной нам литературе отсутствует. Решение проблемы в последнее время актуализировано климатическими изменениями и необходимостью прогнозирования их воздействия на урожайность основных сельскохозяйственных культур [6–9].

**Цель исследования** – оценка влияния температур и количества осадков в разные фенофазы картофеля на его урожайность и качество продукции.

**Объекты и методы.** Исследование проведено на Томской госсельхозопытной станции

Томской области в 1995–2005 гг. [10]. Используются данные наблюдений фенологии и урожайных качеств, полученные в соответствии с принятыми севооборотами, методикой Государственного сортоиспытания [11] и технологией возделывания сортов Берлихинген, Идеал, Колпашевский, Луговской, Нарымка, Приобский, Фреско и Янга. Изучены влияние на урожайные качества картофеля суммы осадков по фенофазам, мм; суммы температур выше 5 °C по фазам развития, °C; отношение суммы осадков к сумме температур по фазам развития, мм/град.; средняя температура за период вегетации, град. В качестве показателей урожайности картофеля взяты: урожайность, ц/га, и доля крупных и мелких клубней в структуре урожая, %. Результаты обработаны методами корреляционного, дисперсионного и дискриминантного анализа в среде пакетов DATESCOPE и SAS.

**Результаты и их обсуждение.** Фаза прорастания изученных сортов картофеля длится 20–28 дней; всходов – 17–26; бутонизации – 14–20; цветения – 14–22 дня (рис. 1).

Гидротермические условия фенофаз для разных сортов приведены в таблице. Наиболее быстрые темпы развития отмечены для сорта Приобский, наиболее низкие – для сорта Фреско.

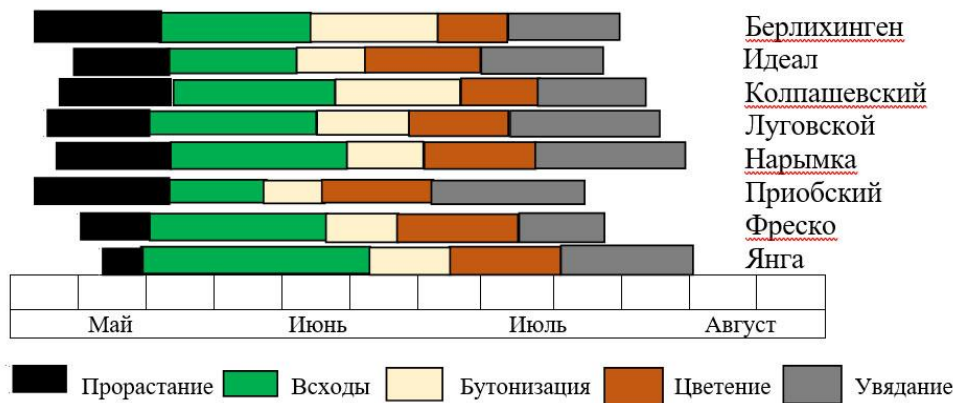


Рис. 1. Фенологические фазы сортов картофеля

**Сумма температур и количество осадков, выпавших во время прохождения фенологических фаз у разных сортов картофеля**

Сорт	Фенологическая фаза									
	I		II		III		IV		V	
	Кол-во осадков, мм	Температура, °С	Кол-во осадков, мм	Температура, °С	Кол-во осадков, мм	Температура, °С	Кол-во осадков, мм	Температура, °С	Кол-во осадков, мм	Температура, °С
Берлихинген	49,9	317	79,1	478	52,7	321	47,0	255	17,6	209
Идеал	34,3	322	15,8	298	44,0	399	68,5	41,1	53,9	171
Колпашевский	27,1	182	51,0	378	45,8	213	59,6	334	49,6	315
Луговской	43,7	321	41,9	621	26,8	248	73,0	276	60,5	166
Нарымка	32,2	207	48,4	295	45,8	182	41,9	356	33,9	291
Приобский	17,5	217	42,7	383	12,6	142	27,4	257	63,2	447
Фреско	32,4	311	18,3	260	15,0	242	41,9	322	69,2	505
Янга	32,8	319	47,4	617	31,9	329	51,9	246	52,7	157
Среднее значение	34,0	267	46,4	397	35,0	259	44,8	308	44,8	284

По сумме осадков в фенофазу I растений достоверные различия выявлены для сочетаний сортов: Нарымка – Идеал, Янга, Берлихинген; Колпашевский – Берлихинген, Луговской, Фреско, Янга; в фенофазу II: Луговской – Идеал, Нарымка, Фреско; в фенофазу III: Идеал – Берлихинген Колпашевский, Нарымка; в фенофазу IV: Идеал – Берлихинген; в фенофазу V: Фреско – Берлихинген, Идеал, Луговской, Янга. Максимум различий по количеству осадков установлен для фенофазы II. Если среднее отношение  $max/min$  гидротермических показателей находится в интервале 1,3–3,9, по количеству осадков в фазе II оно равно 9,5. Однофакторный дисперсионный анализ выявил отличие от нуля коэффициента детерминации  $R^2$  для сум-

мы температур во II фенофазу (0,48) и суммы осадков по всем пяти фенофазам развития (фенофаза I – 0,81; II – 0,75; III – 0,79; IV – 0,62; V – 0,71).

Проверка правомерности традиционной классификации сортов по группам скороспелости путем дискриминантного анализа показала доминирующее значение суммы температур во время прохождения фенофаз I, III и V. Установлена четкая локализация только двух групп: ранних и среднеспелых сортов. К ранним следует отнести сорта Берлихинген, Идеал, Луговской, Приобский, Фреско; к среднеспелым – Колпашевский, Нарымка, Янга. Продуктивность максимальна у Берлихингена (199 ц/га) и Фреско (193 ц/га), минимальна – у Идеала и Нарым-

ки (127 ц/га); доля крупных клубней в структуре урожая максимальна у Приобского, минимальна у Колпашевского; доля мелких клубней максимальна у Нарымки, она полностью отсутствует у Приобского и Янги.

Установлена положительная, средняя по силе связь между урожайностью и суммой осадков в фенофазу II, отрицательная – с суммой температур в фенофазу IV, а также – между долей крупных клубней в структуре урожая и суммой осадков в фенофазу IV (рис. 2).

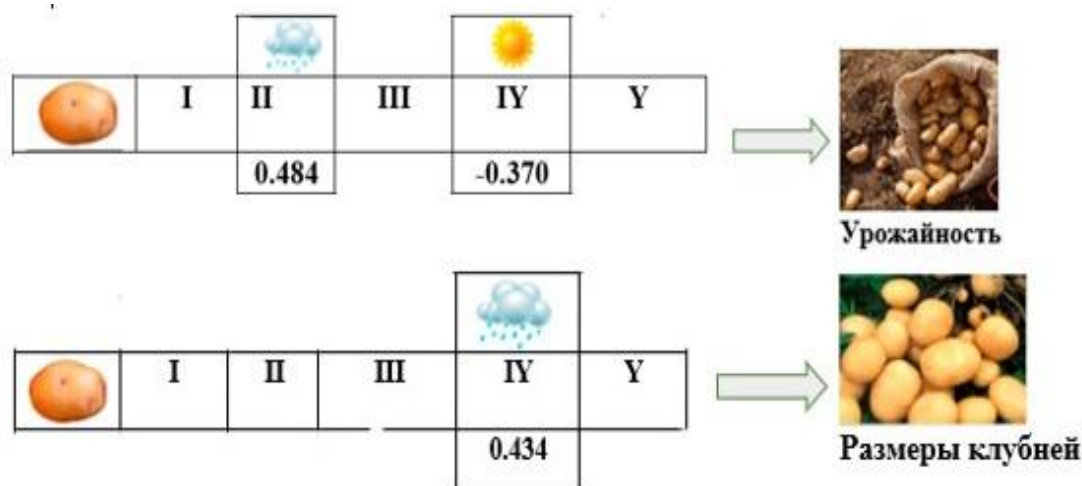


Рис. 2. Сила связи гидротермических условий во время прохождения фенологических фаз (I–V), урожайности и размеров клубней картофеля

Выявлено, что июньские осадки объективно определяют клубнеобразование. Они создают фон для проявления воздействия июльских и августовских осадков на рост и формирование завязавшихся клубней; иными словами, дожди первой половины вегетации достоверно влияют на число клубней, а второй – на их массу. Также обнаружена тесная связь между суммой осадков и долей крупных клубней в IV фенофазу развития растений, объяснимая интенсивным накоплением крахмала и ростом массы клубней; во время нее картофель становится влаголюбивым, и даже кратковременные засухи ведут к снижению его урожайности. Регрессионная зависимость урожайности от гидротермических условий описывается уравнением

$$Y_1 = 0,480 \cdot X_2 + 0,350 \cdot X_4 + 0,247 \cdot Y_3 \quad (1)$$

(при  $p < 0,01$  и  $R^2 = 0,97$ ).

Из него следует достоверная зависимость урожайности от суммы осадков в фенофазу II ( $X_2$ ), суммы температур в фенофазу IV ( $X_4$ ) и поражения фитофторозом  $Y_3$ . Остальные переменные в уравнение регрессии достоверно не входят. Доля крупных клубней  $Y_2$  достоверно зависит только от переменной  $X_5$  (произведе-

ние  $\sum$  осадков на  $\sum$  температур выше  $5^\circ\text{C}$  в IV фенофазу,  $\text{мм} \cdot ^\circ\text{C}$ ):

$$Y_2 = 0,068 \cdot X_5 \quad (p < 0,01 \text{ и } R^2 = 0,70). \quad (2)$$

Урожайность ранних сортов равна в среднем 127,3 ц/га; среднеранних – 156,0; средних – 99 ц/га. В структуре урожая ранних сортов крупные клубни отсутствуют; среднеранних и средних сортов их доля достигает 3,5 %. Доля мелких клубней составляет: у ранних сортов – 82,3 %; у среднеранних – 93,5 и у средних – 96,7 %. Корреляционный анализ, учитывающий сортовые группы, дал для ранних сортов следующую картину:

$$Y_1 \cdot (X_1; X_7), Y_2 \cdot (X_5; X_3) \quad (3)$$

(0,539; 0,377) (-0,457; 0,476)

где  $Y_1$  – урожайность картофеля,  $X_2$  – сумма осадков в фенофазу II;  $X_7$  – произведение  $\sum$  осадков на  $\sum$  температур выше  $5^\circ\text{C}$  в фенофазу II, мм;  $Y_2$  – доля крупных клубней в структуре урожая, %;  $X_5$  – произведение  $\sum$  осадков на  $\sum$  температур выше  $5^\circ\text{C}$  в фенофазу IV,  $\text{мм} \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $X_3$  – отношение  $\sum$  осадков к  $\sum$  температур выше  $5^\circ\text{C}$  в фенофазу IV,  $\text{мм} \cdot ^\circ\text{C}$ .

Для среднепоздних сортов достоверных коэффициентов для  $Y_1$  не получено. Доля крупных клубней сильно и отрицательно зависит от суммы температур в фенофазу II, а доля мелких клубней сильно и положительно – от сочетания количества осадков и суммы температур:

$$Y_2 \cdot (X_8) Y_4 \cdot (X_6) \\ (-0,821) (0,829) \text{ при } p < 0,01, \quad (4)$$

где  $Y_2$  – доля крупных клубней в структуре урожая, %;  $Y_4$  – доля мелких клубней в структуре урожая, %;  $X_6$  – произведение  $\sum$  осадков на  $\sum$  температур выше  $5^\circ\text{C}$  в фенофазу V, мм ·  $^\circ\text{C}$ ;  $X_8$  –  $\sum$  температур выше  $5^\circ\text{C}$  в фенофазу II,  $^\circ\text{C}$ .

Полученные данные подтверждают и, главное, дают количественную оценку ранее описанным закономерностям. Дефицит влаги в начале цветения ведет к максимальным потерям урожая по сравнению с I, III и IV фенофазами, когда обезвоживание компенсируется эндогенными запасами влаги в материнских или дочерних клубнях [5]. Во время II фенофазы они частично израсходованы на рост вегетативной сферы растения; дочерние клубни не сформированы, поэтому растение уязвимо к засухе. При дефиците влаги точки роста подземных побегов, генетически способные к образованию клубней, не развиваются и остаются в состоянии покоя. Негативное влияние на урожайность повышенных температур во время цветения индуцирует превращение столонов в надземные побеги, происходят израстание клубней и резкое уменьшение их размеров.

**Заключение.** Установлено и дано количественное описание зависимости урожая картофеля и его качества от погодных условий. Рассчитана сила связи между урожайностью и гидро-термическими факторами и их сочетаниями, получено математическое описание этих зависимостей. Установлена средняя положительная связь между урожайностью и количеством осадков в период вегетативного роста, а также между долей крупных клубней и суммой осадков во время цветения. Произведено уточнение сортовых групп картофеля по скороспелости, что позволяет оптимизировать их агротехнику. Представляется вероятным, что выявленные закономерности характерны для формирования урожая картофеля не только в условиях Томской области, но и других регионов.

## Список источников

1. *Гаспарян И.Н., Левшин А.Г.* Практика повышения продуктивности картофеля с использованием декапитации в Нечерноземной зоне РФ. Иркутск: Мегапринт, 2017. 256 с.
2. *Игнатенко Д.Н., Путьрский В.Е.* Изучение агроклиматических условий Архангельской области РФ в целях оптимизации производства картофеля (на примере Холмогорского района) // Природообустройство. 2017. Вып. 3. С. 55–60.
3. Физиология картофеля / под ред. Б.А. Рубина. М.: Колос, 1971. С. 41–97.
4. Продуктивность сортов картофеля разных экотипов в зависимости от условий выращивания / И.Н. Романова [и др.] // Природообустройство. 2018. Вып. 5. С. 103–108.
5. *Сергеева Л.Б.* Влияние условий выращивания на урожайность и качество картофеля на Среднем Урале: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Тюмень: Гос. аграр. ун-т Северного Зауралья, 2015. 19 с.
6. *Beveridge L., Whitfield S. and Challinor A.* Crop modelling: towards locally relevant and climate-informed adaptation // Clim. Change. 2014. V. 147. P. 475–489. DOI: 10.1007/s10584-018-2160-z.
7. *Devaux A., Kromann P. and Ortiz O.* Potatoes for sustainable global food security // Potato Res. V. 201. P. 185–199. DOI: 10.1007/s11540-014-9265-1.
8. *Hijmans R.J.* The effect of climate change on global potato production // Am. J. Potato Res. V. 200380. P. 271–279. DOI: 10.1007/BF02855363.
9. *Zhou Z., Andersen M.N. and Plauborg, F.* Radiation interception and radiation use efficiency of potato affected by different N fertigation and irrigation regimes. Eur. J. Agron. 2016. V. 81. P. 129–137. DOI: 10.1016/j.eja.2016.09.007.
10. *Пасько О.А., Захарченко А.В., Поспелова Е.В.* Дифференциация сельскохозяйственных угодий по площадям на примере Томского района // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 5. С. 100–112. DOI: 10.18799/24131830/2019/5/269.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. 2019. URL: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica\\_1.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_1.pdf).

References

1. *Gasparyan I.N., Levshin A.G.* Praktika povysheniya produktivnosti kartofelya s ispol'zovaniem dekapitacii v Nechernozemnoj zone RF. Irkutsk: Megaprint, 2017. 256 s.
2. *Ignatenko D.N., Putyrskij V.E.* Izuchenie agroklimaticheskikh uslovij Arhangel'skoj oblasti RF v celyah optimizacii proizvodstva kartofelya (na primere Holmogorskogo rajona) // Prirodoobustrojstvo. 2017. Vyp. 3. S. 55–60.
3. Fiziologiya kartofelya / pod red. *B.A. Rubina*. M.: Kolos, 1971. S. 41–97.
4. Produktivnost' sortov kartofelya raznyh `ekotipov v zavisimosti ot uslovij vyraschivaniya / *I.N. Romanova* [i dr.] // Prirodoobustrojstvo. 2018. Vyp. 5. S. 103–108.
5. *Sergeeva L.B.* Vliyanie uslovij vyraschivaniya na urozhajnost' i kachestvo kartofelya na Srednem Urale: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk: 06.01.01. Tyumen': Gos. agrar. un-t Severnogo Zaural'ya, 2015. 19 s.
6. *Beveridge L., Whitfield S. and Challinor A.* Crop modelling: towards locally relevant and climate-informed adaptation // *Clim. Change*. 2018. V. 147. P. 475–489. DOI: 10.1007/s10584-018-2160-z.
7. *Devaux A., Kromann P. and Ortiz O.* Potatoes for sustainable global food security // *Potato Res.* V. 201. P. 185–199. DOI: 10.1007/s11540-014-9265-1.
8. *Hijmans R.J.* The effect of climate change on global potato production // *Am. J. Potato Res.* V. 200380. P. 271–279. DOI: 10.1007/BF02855363.
9. *Zhou Z., Andersen M.N. and Plauborg, F.* Radiation interception and radiation use efficiency of potato affected by different N fertigation and irrigation regimes. *Eur. J. Agron.* 2016. V. 81. P. 129–137. DOI: 10.1016/j.eja.2016.09.007.
10. *Pas'ko O.A., Zaharchenko A.V., Pospelova E.V.* Differenciaciya sel'skohozyajstvennyh ugodij po ploschadyam na primere Tomskogo rajona // *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov.* 2019. T. 330, № 5. S. 100–112. DOI: 10.18799/24131830/2019/5/269.
11. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur. Vyp. 1. 2019. URL: [https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica\\_1.pdf](https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_1.pdf).

Статья принята к публикации 08.12.2021 / The article accepted for publication 08.12.2021.

Информация об авторах:

**Ольга Анатольевна Пасько<sup>1</sup>**, заведующая сектором экспериментальных агротехнологий, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Information about the authors:

**Olga Anatolyevna Pasko<sup>1</sup>**, Head of the Sector of Experimental Agricultural Technologies, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

