

**ЛЮДИ УПОТРЕБЛЯЛИ В ПИЩУ РАСТЕНИЯ, ТРАНСФОРМИРОВАННЫЕ АГРОБАКТЕРИЯМИ, ВСЮ СВОЮ ИСТОРИЮ****<sup>1</sup>Матвеева Татьяна Валерьевна, <sup>2</sup>Богомаз Фёдор Денисович**<sup>1</sup>Доктор биологических наук, профессор кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета, Россия[radishlet@gmail.com](mailto:radishlet@gmail.com)<sup>2</sup>Ученик 11 класса лицея 281, Санкт-Петербург, Россия[pickayt2006@gmail.com](mailto:pickayt2006@gmail.com)<https://doi.org/10.5281/zenodo.8429487>

**Аннотация.** Большинство ныне известных коммерческих линий ГМО (генетически модифицированных организмов) были получены с использованием Ti-плазмид агробактерий. Несмотря на это, долгое время одним из аргументов противников ГМО было то, что эти формы чужды природе, поскольку в естественных условиях переносимая агробактериями T-ДНК не попадает в половые клетки и не наследуется. Важным аргументом в поддержку ГМО стало обнаружение растений, трансформированных агробактериями в ходе их эволюции без участия человека (то есть природных ГМО). Они составляют 6-7% видов двудольных. многие из них используются людьми в пищу всю историю.

**Ключевые слова:** природные ГМО; горизонтальный перенос генов, съедобные растения, T-ДНК.

**Abstract.** Most of the currently known commercial GMO lines were obtained using Agrobacterium Ti-plasmids. Despite this, for a long time one of the arguments of the opponents of GMOs was that these forms are alien to nature, since under natural conditions the T-DNA carried by Agrobacterium does not enter the germ cells and is not inherited. An important argument in support of GMOs was the discovery of plants transformed by Agrobacterium during their evolution without human intervention (that is, natural GMOs). They make up 6-7% of dicot species. many of them have been used by humans for food throughout history.

**Keywords:** natural GMOs; horizontal gene transfer; edible plants; T-DNA.

**Annotasiya.** Hozirgi vaqtda ma'lum bo'lgan tijorat GMO liniyalarining aksariyati Agrobakteriya Ti-plazmidlaridan foydalanish yordamida olingan. Shunga qaramay, uzoq vaqt davomida GMO qarshi bo'lganlarning dalillaridan biri bu shakllarning tabiatga begona ekanligi edi, chunki tabiiy sharoitda agrobakteriyalar olib boradigan T-DNK jinsiy hujayralarga kirmaydi va meros qilib olinmaydi. GMOlarni qo'llab-quvvatlovchi muhim dalil agrobakteriyalar tomonidan evolyusiya jarayonida inson aralashuviziz (ya'ni tabiiy GMO) o'zgargan o'simliklarning topilishi edi. Ular ikki pallali turlarining 6-7% ni tashkil qiladi. Ularning ko'pchiligi tarix davomida odamlar tomonidan oziq-ovqat uchun ishlatilgan.

**Kalit sozlar:** tabiiy GMO, gorizontaal gen transferi, osimlik mahsulotlari, T-DNA.

**Введение.** Большинство известных в настоящее время коммерчески возделываемых линий трансгенных растений были получены с использованием Ti-плазмид агробактерий. Люди только замещают гены агробактерий в переносимой ДНК (T-ДНК) нужными им и регенерируют целые растения из трансгенных клеток.

Несмотря на это, долгое время одним из аргументов противников ГМО было то, что эти формы чужды природе, поскольку в естественных условиях переносимая агробактериями в растение ДНК не попадает в половые клетки и не наследуется, а остается

лишь в клетках корончатых галлов или косматых корней. Важным аргументом в поддержку ГМО стало обнаружение растений, трансформированных агробактериями в ходе их эволюции без участия человека. Такие растения получили названия природных ГМО. Первое природно-трансгенное растение было описано в пределах рода *Nicotiana* случайно [16]. Вторым родом двудольных, имеющих в своем составе природные ГМО, - это *Linaria*. Он был обнаружен нами в результате целенаправленного поиска молекулярными методами среди более чем сотни видов двудольных [11]. Третий род природных ГМО был обнаружен тоже случайно. Примечательно, что в его составе было найдено первое природно-трансгенное растение, используемое людьми в пищу, - батат [10]. После этого биоинформатическими методами список природных ГМО был нами увеличен на порядок [3, 12, 13]. По мере появления в базах сведений о новых секвенированных геномах этот список будет пополняться. По нашим оценкам природные ГМО встречаются в 6-7% видах двудольных растений. Среди них много видов, используемых людьми в пищу всю свою историю. Поскольку у многих видов ДНК агробактериального происхождения организована в виде несовершенного инвертированного повтора, плечи этого повтора можно сравнивать на нуклеотидном уровне. Чем больше различий между плечами, тем древнее вставка. На основе исследования степени дивергенции между плечами можно судить о возрасте трансгенов. На основе такого анализа было продемонстрировано, что основная масса природных ГМО возникла от нескольких миллионов до нескольких сотен тысяч лет назад, то есть до появления современного человека [12]. А все человеческие культуры на протяжении всей истории употребляли в пищу трансгенные растения.

Остановимся подробнее на некоторых примерах съедобных природных ГМО и их распространении.

**Кавказская хурма *Diospyros lotus* L.:** Кавказская хурма содержит в геноме несколько копий Т-ДНК [13]. Она получила название от Кавказа, где произрастает, однако, ареал ее значительно шире: он простирается от Японии и Китая через Северную Индию вплоть до Испании. Плоды хурмы кавказской содержат много углеводов, яблочной кислоты и витаминов. Используются в пищу в свежем или сушеном виде [7].

**Ямс крылатый *Dioscorea alata* L.:** Ямс содержит в геноме гомологи гена кукумопинсинтазы агробактерий [12]. Изначально культивировался в Юго-Восточной Азии, но распространился в Азии шире, а также на островах Тихого океана, в Африке и Восточной Индии.

В пищу употребляют клубни, которые в отличие от других корнеклубненосных тропических культур, выдерживают длительное хранение даже при высоких температурах, однако в свежем виде в пищу не используются. Их размалывают в муку и используют для приготовления лепёшек и соусов к различным блюдам [15].

**Чайный куст *Camellia sinensis* (L.) Kuntze:** Чайный куст впервые стали культивировать в Китае, откуда он попал в Японию, а далее широко распространился по свету. В его геноме и родственных видах содержится протяженная Т-ДНК агробактериального происхождения [4].

**Манчжурский орех *Juglans mandshurica* Maxim:** Манчжурский орех содержит в геноме гомолог гена сукцинамопинсинтазы [12]. Распространен на Дальнем Востоке России (Приморье и Приамурье), в Китае Тайвани, а также на Корейском полуострове. Ядра

орехов содержат до 55 % масла около 20 % белка, свыше 15 % углеводов и витамины. Орехи употребляют в пищу в свежем виде, используются в кондитерской промышленности [1].

**Батат *Ipomoea batatas* (L.) LAM:** В Центральной Америке одомашненный батат присутствовал по меньшей мере 5000 лет назад [6]. Считается, что он происходит из местности между полуостровом Юкатан в Мексике и устьем реки Ориноко в Венесуэле [9]. Ацтеки, проживавшие на территории современной Мексики уже ели клубни батата сырыми, вареными и жареными [9]. В геноме батата не менее трех фрагментов агробактериальной LUR [12=13].

**Гуава *Psidium guajava* L.:** В геноме гуавы обнаружены агробактериальные гены синтеза маннопина [12]. Родина гуавы — Южная и Центральная Америка, предположительно Перу. Первые упоминания о ней встречаются в книге «Хроника Перу» Сьеса де Леона 1553 года [2].

Испанцы распространили гуаву из Перу и Колумбии почти по всей тропической зоне Азии, Африки, Южной и Северной Америки. Во многих странах гуаву едят сырой. С 1950–х годов гуаву изучают на предмет ее метаболитов и истории использования в народной медицине [5].

**Суринамская вишня *Eugenia uniflora* L.:** Суринамская вишня содержит в геноме агробактериальные онкогены [12], относящиеся к семейству генов пластичности. Это растение встречается как в диком виде, так и в культуре в Суринаме, Гайане, Французской Гвиане, Бразилии, Парагвае и Уругвае, Колумбии, Венесуэле, Центральной Америке, Индии, Южном Китае, на Антильских островах, на Филиппинах и в Израиле.

Плоды суринамской вишни едят в сыром виде, используют в кондитерской промышленности. [14].

**Арахис *Arachis hypogaea* L.:** Культурный арахис и родственные ему виды содержат в геноме гомологи кукумопинсинтазы [12]. Родиной арахиса считается Южная Америка. Испанцы завезли арахис в Европу, а оттуда он попал в Африку. Из Африки во времена работорговли арахис попал в Северную Америку [8].

**Растения рода *Vaccinium* L.:** Растения рода *Vaccinium* содержат в геноме гомологи агробактериальных генов пластичности [12-13]. К этому роду относятся многие лесные ягоды умеренной зоны Северного полушария. Это болотная клюква, брусника, голубика обыкновенная и черника, произрастающие в северной части Евразии, а также североамериканские голубики и крупноплодная клюква, распространенные на Американском континенте. Эти виды растений долгое время использовались людьми как дикоросы, а в прошлом веке их начали вводить в культуру. [17]

### **Заключение.**

Таким образом, на данный момент известно множество видов природных ГМО-продуктов, используемых человечеством в пищу. Среди них много съедобных растений, используемых людьми всю свою историю без ущерба для здоровья. Это важный аргумент в поддержку ГМО.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением № 075-15-2022-322 от 22.04.2022 о предоставлении гранта в виде субсидии из Федерального бюджета Российской Федерации.

Грант предоставлен в рамках государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

### REFERENCES

1. Усенко Н. В. Деревья, Кустарники И Лианы Дальнего Востока. — Хабаровское Книжное Издательство, 1984. — С. 66—68. — 272 С.
2. Хроника Перу. Часть Первая / Под Ред. А. Скромницкого. — Киев: Blok.Not, 2008. — 384 С.
3. Bogomaz, F.D.; Matveeva, T.V. Expression Sequences Of Opine Synthase Genes In Natural Gmos Based On Analysis Of Their Transcriptomes. *Plant Biotechnol. Breed.* 2022, 5, 15–24
4. Chen K, Zhurbenko P, Danilov L, Matveeva T, Otten L. Conservation Of An Agrobacterium Ct-Dna Insert In Camellia Section Thea Reveals The Ancient Origin Of Tea Plants From A Genetically Modified Ancestor. *Front Plant Sci.* 2022 Dec 6;13:997762. Doi: 10.3389/Fpls.2022.997762. Pmid: 36561442; Pmcid: Pmc9763466.
5. De Boer HJ, Cotingting C. Medicinal Plants For Women's Healthcare In Southeast Asia: A Meta-Analysis Of Their Traditional Use, Chemical Constituents, And Pharmacology. *J Ethnopharmacol.* 2014 Feb 3;151(2):747-67. Doi: 10.1016/J.Jep.2013.11.030. Epub 2013 Nov 21. Pmid: 24269772.
6. <https://kipmu.ru/batat/> Дата Обращения 4.08.2023
7. <https://news.myseldon.com/ru/news/index/262765757> Дата Обращения 4.08.2023
8. <https://www.npr.org/sections/codeswitch/2014/04/20/304585019/a-legume-with-many-names-the-story-of-goober?> Дата Обращения - 5.08.2023
9. <https://web.archive.org/web/20050207230303/http://www.cgiar.org/impact/research/sweetpotato.html> Дата Обращения 4.08.2023
10. Kyndt, T.; Quispe, D.; Zhai, H.; Jarret, R.; Ghislain, M.; Liu, Q.; Gheysen, G.; Kreuze, J.F. The Genome Of Cultivated Sweet Potato Contains Agrobacterium T-Dnas With Expressed Genes: An Example Of A Naturally Transgenic Food Crop. *Proc. Natl. Acad. Sci. Usa* 2015, 112, 5844–5849.
11. Matveeva, T.V.; Bogomaz, D.I.; Pavlova, O.A.; Nester, E.W.; Lutova, L.A. Horizontal Gene Transfer From Genus Agrobacterium To The Plant Linaria In Nature. *Mol. Plant Microbe Interact.* 2012, 25, 1542–1551.
12. Matveeva, T.V.; Otten, L. Widespread Occurrence Of Natural Transformation Of Plants By Agrobacterium. *Plant Mol. Biol.* 2019, 101, 415–437
13. Matveeva, T.V. New Naturally Transgenic Plants: 2020 Up-Date. *Biol. Commun.* 2021a, 66, 36–46..
14. Morton, J.F. 1987. Fruits Of Warm Climates. Julia Morton 20534 Sw 92 Ct., Miami Fl 33189
15. Scarcelli N, Cubry P, Akakpo R, Thuillet Ac, Obidiegwu J, Baco Mn, Otoo E, Sonké B, Dansi A, Djedatin G, Mariac C, Couderc M, Causse S, Alix K, Chair H, François O, Vigouroux Y. Yam Genomics Supports West Africa As A Major Cradle Of Crop Domestication. *Sci Adv.* 2019 May 1;5(5):Eaaw1947. Doi: 10.1126/Sciadv.Aaw1947. Pmid: 31114806; Pmcid: Pmc6527260.
16. White, F.F.; Garfinkel, D.J.; Huffman, G.A.; Gordon, M.P.; Nester, E.W. Sequence Homologous To Agrobacterium Rhizogenes T-Dna In The Genomes Of Uninfected Plants. *Nature* 1983, 301, 348–350.

17. Zhidkin R, Zhurbenko P, Bogomaz O, Gorodilova E, Katsapov I, Antropov D, Matveeva T. Biodiversity Of Rolb/C-Like Natural Transgene In The Genus Vaccinium L. And Its Application For Phylogenetic Studies. *Int J Mol Sci.* 2023 Apr 8;24(8):6932. Doi: 10.3390/Ijms24086932. Pmid: 37108096; Pmcid: Pmc10138537.