

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ В ОРГАНИЗАЦИИ НОВЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ\*

Ибрагим Мусаевич Баматов, кандидат биологических наук  
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Россия  
E-mail: ibragim-1991@mail.ru

**Аннотация.** Устойчивое развитие сельскохозяйственного сектора при прогнозируемом росте спроса на продовольствие предполагает поиск и внедрение инновационных технологий. Наряду с повышением эффективности использования ресурсов актуальным остается снижение антропогенного загрязнения и сохранение окружающей среды. Сельхозпроизводители все чаще обращают внимание на внедрение прогрессивных технологий контролируемого или пролонгированного высвобождения элементов питания для оптимизации доставки питательных веществ (с применением полимера) к растениям или химических средств борьбы с сорняками, вредителями и болезнями растений (гербициды, инсектициды, фунгициды). В статье рассмотрена возможность внедрения инновационных систем земледелия, где производители, кроме экономических приоритетов (повышение выхода урожайной продукции и приемлемой рентабельности), преследуют цели экологического характера (уменьшение почвенных и атмосферных загрязнений, сохранение и повышение почвенного плодородия, включая восполнение запасов элементов минерального питания в почве).

**Ключевые слова:** системы питания растений, удобрения пролонгированного действия, оптимизация элементов питания, повышение урожайности, полимер

## POLYMERS USAGE IN NEW PLANT NUTRITION SYSTEM ORGANIZATION

I.M. Bamatov, PhD in Biological Sciences  
FRC "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", Moscow, Russia  
E-mail: ibragim-1991@mail.ru

**Abstract.** The agricultural sector is constantly looking for new technologies (methods) to increase the efficiency of inputs (agrochemicals) and minimize possible anthropogenic impact on the environment. Accordingly, producers are proposing the use of controlled or slow-release fertilizers (technologies) to optimize the delivery of nutrients (using a polymer) to plants or chemicals to more effectively control weeds, pests and diseases (herbicides, insecticides and fungicides). This article considers the possibility of introducing innovative farming systems, where, in addition, agrarian producers, in addition to the goal of increasing yields, must maintain and increase soil fertility, including replenishment of nutrient reserves in the soil.

**Keywords:** plant nutrition systems, long-acting fertilizers, nutrient optimization, yield increase, polymer, soil fertility

Прогноз ФАО (продовольственная и сельскохозяйственная организация при ООН) показывает, что рост населения Земли неизбежен и достигнет 9 млрд человек уже к 2050 году. Это важнейший вызов глобальной экономике в области производства сельскохозяйственной продукции. [10] Повышение урожайности во всем мире необходимо для удовлетворения растущего потребления (рис. 1, 3-я стр. обл.). Сельскохозяйственная отрасль зависит от климата и его прогрессирующие изменения в последние десятилетия не всегда благоприятны. В первую очередь, это засухи на ранее благополучных агроландшафтах с усилением процессов аридизации земель. Рост объемов применяемых минеральных удобрений не сопровождается внедрением технологий их эффективного использования, что порождает экологические проблемы (деградация почв, загрязнение атмосферы парниковыми газами, эвтрофикация водоемов, истощение земель из-за несбалансированного выноса питательных веществ). [6, 10, 13]

В почвах России отрицательный баланс питательных веществ для агробиocenozов уже превысил

140 млн т действующего вещества. Дефицит азота — 56,3 млн т, фосфора — 12,3, калия — 75,9 млн т. Значительная часть урожая формируется из почвенных запасов, что приводит к падению плодородия почв. Следовательно, на отечественном и глобальном уровне производство сельскохозяйственных культур необходимо увеличить, модернизировать и защитить, чтобы избежать дефицита предложения, учитывая тенденции роста населения. [4, 12]

Рост сельскохозяйственной деятельности наносит ущерб окружающей среде (изменение климата, истощение ресурсов и энергии). При чрезмерном внесении удобрений наблюдается значительное падение их эффективности и негативные экологические последствия. Продолжительное применение традиционных форм удобрений приводит к большим потерям из-за проблем с выщелачиванием (до 60...70%), что очень болезненно для развивающихся стран, где сельскохозяйственный сектор самый основной в экономике.

При нехватке воды и деградации земель возрастают экологические стрессы. Две трети земной поверхности подвержены сильному или среднему воздействию изменения климата. [5, 7]

\* Исследования проводили в рамках реализации договора РНФ № 22-16-00092 / The research was carried out within the framework of the implementation of the RNF Agreement No. 22-16-00092.

Для увеличения урожайности требуется внедрить улучшенные и гибридные версии минеральных удобрений, которые своевременно, поэтапно и адресно доставляют питательные вещества растениям. Разработаны удобрения (Control Release Fertilizer-CRF и Slow Release Fertilizer-SRF), в которых питательные вещества могут высвобождаться постепенно (продолговано), удовлетворяя конкретную потребность растений во время роста (рис. 2, 3-я стр. обл.).

Система контролируемого высвобождения (CRF) соответствует одиночному непрерывному выбросу элементов питания в почву (зеленый цвет), но сам выход питательных элементов можно контролировать для определенного времени, коррелируется при помощи толщины покрываемой пленки. Черным цветом выделено «обычное высвобождение» — традиционные удобрения, красным — «медленное», показывает разные пики высвобождения зависимости от внешних факторов.

Термины «удобрение с контролируемым высвобождением» (CRF) и «удобрение с медленным высвобождением» (SRF) обычно считаются аналогичными. Идеальное удобрение с контролируемым или медленным высвобождением — покрытое экологически безопасным натуральным или полунатуральным макромолекулярным материалом (полимер), который замедляет высвобождение питательных веществ до такой низкой скорости, что однократное внесение в почву может удовлетворить потребности растений в питательных веществах для роста модельной культуры. Принципиальные различия между CRF и SRF приведены в таблице 1.

Таким образом, продукты SRF и CRF перспективны для повышения эффективности применения удобрений, экономии затрат на рабочую силу и решений агроэкологических проблем, которые могут быть вызваны некачественным обращением с удобрениями. [15, 19]

Как правило, CRF получают путем нанесения покрытия или инкапсулирования гранул удобрений органическими или неорганическими материалами с гидрофобными характеристиками, которые играют роль диффузионного барьера или стенки. SRF — методом смешивания гранул удобрений с органическими или неорганическими материалами, которые медленно растворяются в воде и пролонгируют высвобождение минеральных элементов (рис. 3, 3-я стр. обл.).

Производство SRF/CRF дороже по сравнению с традиционными удобрениями. Проводимые исследования направлены на поиск и разработку более экономически выгодных и экологически безопасных технологий. До сих пор не существует стандартизированных методов для определения скорости высвобождения питательных веществ CRF и SRF, отсутствует корреляция между данными, полученными в результате лабораторных исследований, и достоверной фактической скоростью в открытой среде (естественный ареал), которые могут быть представлены потребителям. [8]

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Одна из важнейших задач для получения SRF и CRF — правильный подбор и техника нанесения материала, выполняющего роль отсрочки высвобождения питательных веществ. Основным принципом создания удобрений пролонгированного и медленного высвобождения — покрытие традиционных растворимых форм удобрений специальной защитной пленкой или равномерное распределение материала и минеральных основ, осуществляющих отсрочку (пролонгация) высвобождения питательных элементов на основе различных органических (термопласты, эластомерные композиции) и неорганических (сера, парафины) веществ. Такие модификации помогают контролировать скорость

**Таблица 1.**  
**Инновационные удобрения с контролируемым и медленным высвобождением в области системы питания растений**

| Удобрение                       | Технология                                                                                      | Материал                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Максимальная длительность высвобождения | Источник |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| С контролируемым высвобождением | Композиты, обработанные расплавом.                                                              | Поли(гексаметилен-сукцинат).                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 30 дн.                                  | 9        |
|                                 | Процесс растворения перекристаллизации с последующей модификацией поверхности на водной основе. | Полиуретан на основе касторового масла.                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 30 дн.                                  | 10       |
| С медленным высвобождением      | Желатинизация пленки.                                                                           | Нанолиты из слоистых двойных гидроксидов.                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 150 мин.                                | 11       |
|                                 | Гидрогели с двойной сеткой, созданные с помощью ионного сшивания.                               | Биокомпозит из крахмала и багассы маниоки.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                         |          |
|                                 | Планетарные или кольцевые методы фрезерования.                                                  | Полимеризуемый β-циклодекстрин, диметакрилат полиэтиленгликоль, акриламид и акриловая кислота с галлаузитом, содержащим мочевины.                                                                                                                                                                                                     | 25 дн.                                  | 12       |
|                                 | Покрытие с помощью вращающегося гранулятора.                                                    | Порошкообразные глины и карбамидная смесь с механо-активацией.                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3...6 мес.                              | 13       |
|                                 | Привитая сополимеризация акриламида в присутствии аттапульгита.<br>Двойное покрытие.            | Жидкое хитозановое покрытие.<br>Жом сахарного тростника g-поли(акриламид)/аттапульгит супервпитывающие композиты.<br>Ядро (мочевина), этилцеллюлоза в качестве внутреннего покрытия и сверхабсорбирующий полимер на основе целлюлозы, адсорбирующий биохимические ингибиторы дициандиамида и тиомочевину в качестве внешнего покрытия | 20 ч<br>До 1 мес.                       | 14       |

высвобождения минеральных веществ, организовывать своевременную доставку для растений. При получении SRF и CRF ученым (производители) необходимо выбрать «правильный» биоразлагаемый материал, обеспечивающий отсрочку высвобождения, так как многие полимеры не подвержены биологическому разложению после внесения в почву. Соответственно, законодательно вводят дополнительные требования к биоразлагаемым материалам, используемым в системе питания растений, где главное условие полимера — его биодеструктивное разложение — 60...90% в течение 6...12 мес. [1–3]

На процесс разложения полимера влияют многочисленные факторы (структурная особенность, конфигурация, химический состав, молекулярная масса и другое). Несмотря на большое количество отечественных и зарубежных публикаций, остаются вопросы по покрытию, равномерному распределению минеральных веществ (удобрений) в соотношении с полимером (включая технологическую часть, различные реакторы), контролю скорости высвобождения питательных веществ в зависимости от требования культуры и фенологической фазы, полезности (эффективность) разлагаемых макро- и микроцепей для растений, скорости биодеструкции применяемого полимера, «связки» минерального удобрения с полимером.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Краткое описание техники нанесения покровного материала на гранулы минеральных удобрений приведены в таблице 2.

**Выводы.** Покрытие макроэлементных форм удобрений необходимо чтобы избежать потери азота в результате выщелачивания, улетучивания и процесса денитрификации, связывания фосфора с железом, медью и перехода фосфора в недоступную форму для растений. Также удобрения служат для высвобождения азота в режиме, со-

вместимом с метаболическими потребностями (фенологические фазы) растений. Многие технологии покрытия минеральных удобрений не могут использоваться для производства CRF и SRF из-за их аморфной природы. Поэтому герметики, связывающие вещества, пластификаторы и защищенные агенты применяют для борьбы с эффектом мгновенного взрыва, что увеличивает сложность и стоимость процесса. CRF и SRF на основе полимерных материалов обладают потенциалом с точки зрения пролонгированного и контролируемого высвобождения минеральных элементов питания, но сложность обработки препятствует производству в промышленных масштабах.

Материалы покрытия следует выбирать с учетом его сходства с модифицируемым удобрением, способности проникать в воду и раствор NPK, препятствовать быстрому выходу NPK с поверхности покрытия и высвобождать макро- и микроэлементы в соответствии с метаболическими потребностями сельскохозяйственных культур в течение определенного периода времени. Важно, чтобы материал покрытия был дешевым и биоразлагаемым.

Процесс нанесения покрытий должен обеспечивать возможность промышленного производства CRF и SRF без изменения сферической геометрии гранул удобрений. Для этого можно использовать установку нанесения покрытий с псевдосжиженным слоем, лотковую установку с вращающимся барабаном.

При нанесении покрывного слоя хорошо себя зарекомендовал химический реактор непрерывного, многостадийного смешивания типа V-star. Покрытие полимерной пленкой минеральных гранул в V-star происходит с высокими качественными показателями, что позволяет рекомендовать процесс к внедрению в промышленных масштабах, но материалы покрытия должны быть водорастворимыми для транспортировки раствора между стадиями.

Таблица 2.

Краткое описание технологий нанесения покровного слоя на ядро

| Технология покрытия      | Преимущество                                                                                                                                                                                                         | Недостаток                                                                                                                                                                         |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Физический метод         |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                    |
| Вращающийся барабан      | Непрерывный процесс, низкие эксплуатационные расходы, легко масштабируемые                                                                                                                                           | Требуется большое количество материала для достижения равномерного покрытия                                                                                                        |
| Пан покрытие             | Непрерывный процесс, низкие эксплуатационные расходы, легко масштабируемые                                                                                                                                           | Высокая температура воздуха для сушки, плохое поддержание уровня влажности приводит к детективной структуре                                                                        |
| Псевдооживленный слой    | Непрерывный процесс, низкие эксплуатационные расходы, легко масштабируемые, равномерное покрытие, широкий выбор материалов                                                                                           | Дорогое оборудование, длительное время пребывания, склонен к блокировке фильтров, большая вероятность взрыва раствора, более низкая производительность при больших размерах гранул |
| Плавление и экструзия    | Без растворителей                                                                                                                                                                                                    | Участвуют горячие расплавы, дорогое оборудование                                                                                                                                   |
| Химический метод         |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                    |
| Полимеризация в растворе | Растворители снижают вязкость, что облегчает обработку. Плотность сшивки можно контролировать, варьируя содержание мономера, инициатора и сшивающего агента                                                          | Более низкая скорость реакции приводит к возможной потере соединений, трудно восстановить растворитель из его конечной формы                                                       |
| Обратная полимеризация   | Плотность сшивки можно контролировать, варьируя содержание мономера, инициатора и сшивающего агента. Более высокая эффективность из-за высокой скорости. Растворитель может быть восстановлен, что снижает стоимость | Склонность к загрязнению суспензией, требуется выполнить разделение для очистки полимера                                                                                           |
| Микроволновое излучение  | Простота и низкое энергопотребление                                                                                                                                                                                  | Не широко применяется при подготовке CRF и SRF                                                                                                                                     |

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баматов И.М., Васильева Н.А., Владимиров А.А. и др. Влияние полимерной модификации комплексного удобрения на эффективность использования фосфора и калия озимой пшеницей на южном черноземе // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. № 113. С. 90–109. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-113-90-109. EDN: XNIVIC.
2. Баматов И.М., Перевертин К.А., Абасов Ш.М., Хамурзаев С.М. Влияние биополимерной модификации минеральных удобрений на продуктивность зерна озимой пшеницы и основные элементы плодородия почвы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 39–43. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/39-43. EDN: KDUHLR.
3. Перевертин К.А., Баматов И.М. Адаптация земледелия России в современных условиях беспрецедентных вызовов (пример удобрений пролонгированного действия) // Воспроизводство плодородия почв и создание устойчивых агробиоценозов: Мат. Межд. науч.-практ. конф. «110 лет Длительному полевому стационарному опыту РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, 30 июня 2022 года. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 139–142. EDN: MLUANU.
4. Эдельгериев Р.-С.Х. (ред.) Глобальный климат и почвенный покров России // Национальный доклад. М., 2021. Т. 3.
5. Adamchuk V., Hummel J., Morgan M., Upadhyaya S. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Comput. Electron. Agric. 2004. No. 44, PP. 71–91. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2004.03.002>.
6. Ahmad A.H., Wahid A., Khalid F. et al. Impact of organic and inorganic sources of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of forage oat (*Avena sativa* L.), Cercetari Agronomicei n Moldova, 2011. No. 3. P. 147.
7. Ain N.U., Naveed M., Hussain A. et al. Impact of Coating of Urea with Bacillus-Augmented Zinc Oxide on Wheat Grown under Salinity Stress. Plants. 2020. No. 9. P. 1375.
8. Azeem B., KuShaari K., Man Z.B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. J. Control. Release. 2014. No. 181. PP. 11–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>.
9. Bi S., Barinelli V., Sobkowicz M.J. Degradable controlled release fertilizer composite prepared via extrusion: fabrication, characterization, and release mechanisms, Polymers 12, 2020. p. 301.
10. FAO, 2050: A third more mouth to feed, 2009.
11. Gumelar M.D., Hamzah M., Hidayat A.S., Saputra D.A. Utilization of chitosan as coating material in making NPK slow release fertilizer, in: Wiley Online Library, 2020.
12. Hangs R.D., Knight J.D., Van Rees K.C.J. Nitrogen accumulation by conifer seedlings and competitor species from 15nitrogen-labeled controlled-release fertilizer, Soil Sci. Soc. Am. J. 2003. No. 67. PP. 300–308.
13. Lawrencina D., Wong S.K., Low D.Y.S. et al. Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release. Plants. 2021. No. 10. p. 238. <https://doi.org/10.3390/plants10020238>.
14. Lu H. Tian, Zhang M., Liu Z. et al. Water polishing improved controlled-release characteristics and fertilizer efficiency of castor oil-based polyurethane coated diammonium phosphate, Sci. Rep. 2020. No. 10. PP. 1–10.
15. Qiao D., Liu H., Yu L. et al. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer, Carbohydr. Polym. 2016. No. 147. PP. 146–154.
16. Schmidt H.P., Pandit B.H., Martinsen V. et al. Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil, Agriculture. 2015. No. 5. PP. 723–741.
17. Seggiani M., Cinelli P., Elnaby H., Azaam M.M. Swelling capacity of sugarcane bagasse-g-poly (acrylamide)/attapulgate superabsorbent composites and their application as slow release fertilizer, Eur. Polym. J., 2020.
18. Vejan P., Khadiran T., Abdullah R., Ahmad N. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. J Control Release. 2021. No. 339. PP. 321–334.
19. Wu L., Liu M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention, Carbohydr. Polym. 2008. No. 72. PP. 240–247.
20. Zhang M., Yang J. Preparation and characterization of multifunctional slow release fertilizer coated with cellulose derivatives, Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater, 2020. PP. 1–8.

## REFERENCES

1. Bamatov I. M., Vasil'eva N.A., Vladimirov A.A. i dr. Vliyanie polimernoj modifikacii kompleksnogo udobreniya na effektivnost' ispol'zovaniya fosfora i kaliya ozimoy pshenicej na yuzhnom chernozeme // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2022. № 113. S. 90–109. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-113-90-109. EDN: XNIVIC.
2. Bamatov I.M., Perevertin K.A., Abasov Sh.M., Hamurzaev S.M. Vliyanie biopolimernoj modifikacii mineral'nyh udobrenij na produktivnost' zerna ozimoy pshenicy i osnovnye elementy plodorodiya pochvy // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2022. № 6. S. 39–43. DOI: 10.31857/2500-2082/2022/6/39-43. EDN: KDUHLR.
3. Perevertin K.A., Bamatov I.M. Adaptaciya zemlepol'zovaniya Rossii v sovremennyh usloviyah besprecedentnyh vyzovov (primer udobrenij prolongirovannogo dejstviya) // Vosproizvodstvo plodorodiya pochv i sozdanie ustojchivyh agrobiocенозов: Mat. Mezhd. nauch.-prakt. konf. «110 let Dli-tel'nomu polevomu stacionarnomu opytu RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva», Moskva, 30 iyunya 2022 goda. M.: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet – MSKHA im. K.A. Timiryazeva, 2022. S. 139–142. EDN: MLUANU.
4. Edel'geriev R.-S.H. (red.) Global'nyj klimat i pochvennyj pokrov Rossii // Nacional'nyj doklad. M., 2021. T. 3.
5. Adamchuk V., Hummel J., Morgan M., Upadhyaya S. On-the-go soil sensors for precision agriculture. Comput. Electron. Agric. 2004. No. 44, PP. 71–91. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2004.03.002>.
6. Ahmad A.H., Wahid A., Khalid F. et al. Impact of organic and inorganic sources of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of forage oat (*Avena sativa* L.), Cercetari Agronomicei n Moldova, 2011. No. 3. P. 147.
7. Ain N.U., Naveed M., Hussain A. et al. Impact of Coating of Urea with Bacillus-Augmented Zinc Oxide on Wheat Grown under Salinity Stress. Plants. 2020. No. 9. P. 1375.
8. Azeem B., KuShaari K., Man Z.B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. J. Control. Release. 2014. No. 181. PP. 11–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>.
9. Bi S., Barinelli V., Sobkowicz M.J. Degradable controlled release fertilizer composite prepared via extrusion: fabrication, characterization, and release mechanisms, Polymers 12, 2020. p. 301.

10. FAO, 2050: A third more mouth to feed, 2009.
11. Gumelar M.D., Hamzah M., Hidayat A.S., Saputra D.A. Utilization of chitosan as coating material in making NPK slow release fertilizer, in: Wiley Online Library, 2020.
12. Hanks R.D., Knight J.D., Van Rees K.C.J. Nitrogen accumulation by conifer seedlings and competitor species from <sup>15</sup>N-labeled controlled-release fertilizer, Soil Sci. Soc. Am. J., 2003. No. 67. PP. 300–308.
13. Lawrence D., Wong S.K., Low D.Y.S. et al. Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release. Plants. 2021. No. 10. p. 238. <https://doi.org/10.3390/plants10020238>.
14. Lu H. Tian, Zhang M., Liu Z. et al. Water polishing improved controlled-release characteristics and fertilizer efficiency of castor oil- based polyurethane coated diammonium phosphate, Sci. Rep. 2020. No. 10. PP. 1–10.
15. Qiao D., Liu H., Yu L. et al. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer, Carbohydr. Polym. 2016. No. 147. PP. 146–154.
16. Schmidt H.P., Pandit B.H., Martinsen V. et al. Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil, Agriculture. 2015. No. 5. PP. 723–741.
17. Seggiani M., Cinelli P., Elnaby H., Azaam M.M. Swelling capacity of sugarcane bagasse-g-poly (acrylamide)/attapulgate superabsorbent composites and their application as slow release fertilizer, Eur. Polym. J., 2020.
18. Vejan P., Khadiran T., Abdullah R., Ahmad N. Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. J Control Release. 2021. No. 339. PP. 321–334.
19. Wu L., Liu M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention, Carbohydr. Polym. 2008. No. 72. PP. 240–247.
20. Zhang M., Yang J. Preparation and characterization of multifunctional slow release fertilizer coated with cellulose derivatives, Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater, 2020. PP. 1–8.

*Поступила в редакцию 14.03.2023*

*Принята к публикации 28.03.2023*

## Рисунки к статье Баматова И.М. «Использование полимеров в организации новых систем питания растений» (стр. 10)

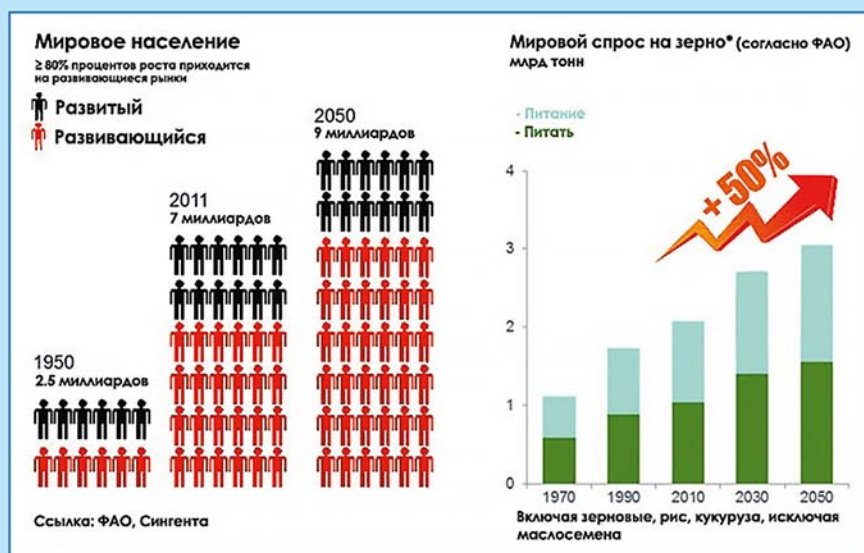


Рис. 1. Прогноз потребления продуктов питания населением Земли.



Рис. 2. Схематическая иллюстрация доступности питательных веществ во времени в соответствии с различными системами высвобождения. [18]

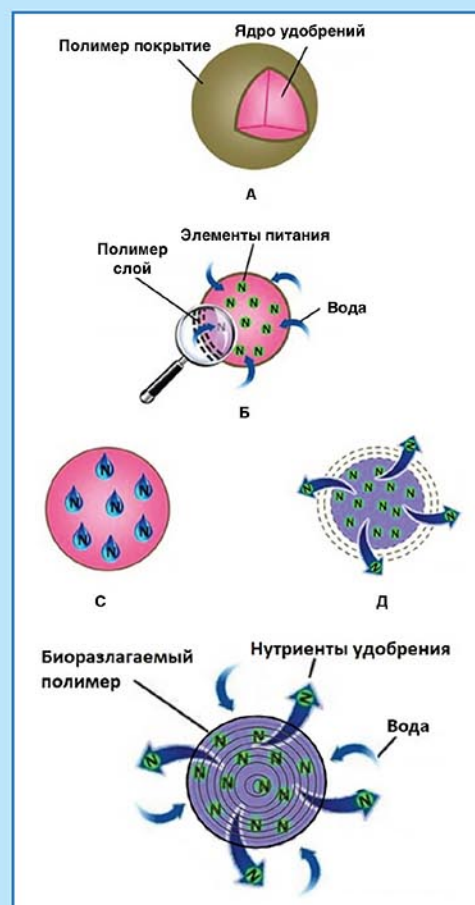
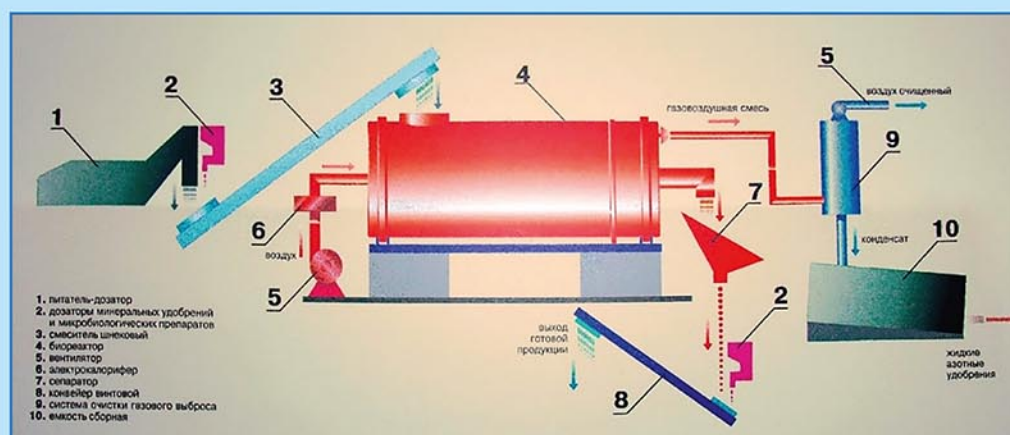


Рис. 3. Схематическая иллюстрация высвобождения минеральных элементов CRF и SRF: А – ядро удобрения с полимерным покрытием; Б – вода проникает в покрытие и гранулу ядра; С – растворение удобрения и развитие осмотического давления; Д – контролируемое высвобождение питательных веществ через набухшую оболочку.

## Рисунки к статье Лачуги Ю.Ф., Зеникова В.И. «Новое направление в производстве органических удобрений» (стр. 101)



Технологическая схема переработки органического сырья во вращающихся барабанах.