

## Оценка плодородия почвоподобного материала свалок

*Н.В. Грачева, В.Ф. Желтобрюхов, Ю.Н. Картушина,*

*Е.Л. Романова, А.Ю. Щербакова*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В работе представлены результаты оценки плодородия почвоподобного материала со свалки. В качестве параметров, характеризующих плодородие, были использованы степень гумусированности, содержание подвижных форм азота, фосфора, серы, а также калия, кальция, магния и значение pH. Определено, что изученные образцы почвоподобного материала имеют высокую степень гумусированности и обеспеченности питательными элементами, за исключением магния, обеспеченность которым является средней. Это свидетельствует о наличии плодородного потенциала материала и возможности его использования в качестве плодородного грунта при проведении рекультивации. Слабощелочная среда и высокое содержание калия и подвижной серы обуславливают необходимость разработки мероприятий по нормализации указанных показателей и подбора растений для фиторемедиации.

**Ключевые слова:** свалка, почвоподобный материал, плодородие, экологическая безопасность, гумус, азот, фосфор, калий.

Ликвидация свалок относится к одной из первостепенных задач обеспечения экологической безопасности урбанизированных территорий, поскольку свалки являются постоянно действующими источниками загрязнения окружающей среды и могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 25.07.2017 N 1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается» при ликвидации из свалочных масс должны быть отделены и направлены на утилизацию отходы, запрещенные к захоронению. Оставшаяся часть отходов должна быть передана на полигоны для размещения.

Согласно многочисленным исследованиям, свалочное тело старых свалок содержит преимущественно почвоподобный материал [1], который потенциально может быть использован в качестве укрывного материала на полигоне [2, 3], компоста для несъедобных культур [4, 5], шумоизолирующих

земляных насыпей и наполнителя для строительства дорог [6, 7], микробиологического и биостимулирующего агента для биоремедиации загрязненной нефтью почвы [8, 9] или в качестве буферного материала [10]. Почвоподобный материал состоит из минеральных (глины, суглинка и песка) и органических компонентов, образующихся в результате биологической деструкции отходов [5, 11]. Ограничивающим фактором использования почвоподобного материала является его потенциальное загрязнение токсикантами [11, 12]. Однако, в ранее проведенных исследованиях показано, что загрязнение в свалочных массах неравномерно, и уровень загрязнения значительной части почвоподобного материала может находиться на уровне допустимого [13 – 15]. Поскольку этот материал не классифицирован, как отход, и не внесен в Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), то при условии отсутствия или допустимого уровня загрязнения он может быть использован в качестве грунта-рекультиванта [16].

Обычно, на этапе технической рекультивации выемку после вывоза свалочных масс засыпают планировочным грунтом, который покрывают слоем почвы или растительного грунта для проведения биологического этапа рекультивации. Так как стоимость почвы и растительного грунта значительно выше стоимости планировочного грунта, актуальным является вопрос возможности использования почвоподобного материала в качестве плодородного слоя.

Цель настоящего исследования – оценка плодородия почвоподобного материала со свалок.

В качестве параметров, характеризующих плодородие, были использованы степень гумусированности, содержание подвижных форм азота, фосфора, серы, а также калия, кальция, магния и значение pH.

Образцы почвоподобного материала были отобраны в ноябре 2021 г на свалке, расположенной в Ворошиловском районе г. Волгоград [12], из вскрытых стихийным производством земляных работ пластов с глубины 2 – 5 метров. Анализы проведены испытательной лабораторией ФГБУ «Станция агрохимической службы «Михайловская»» в ноябре – декабре 2021 г. Глубина отбора проб выбрана с учетом данных по уровню загрязнения почвоподобного материала на исследуемой свалке. Согласно [13] почвоподобный материал, расположенный на глубине 2,5 м и ниже, характеризуется отсутствием или низким уровнем загрязнения.

В таблице представлены результаты испытаний почвоподобного материала.

Одним из параметров, характеризующих плодородие почв, является содержание гумуса. Гумус является хранилищем азота, фосфора, серы и других питательных элементов, которые при минерализации выделяются в доступной для растений форме [17]. Минерализация гумуса также сопровождается выделением углекислого газа, что оказывает влияние на интенсивность фотосинтеза и pH почвы. Гумус улучшает поглощательные и буферные свойства почвы, увеличивает способность задерживать влагу [17].

Светло-каштановые почвы региона исследования (песчаные, супесчаные, легкосуглинистые) характеризуются как средне- и сильногумусированные, если содержание гумуса в них составляет соответственно 1,5 – 2,3% и более 2,3% [18]. Из 15 исследованных образцов 9 имеют высокую степень гумусированности, 4 – среднюю и 1 – низкую. При этом среднее значение показателя равное 4,2% указывает на высокую степень гумусированности почвоподобного материала. Это свидетельствует о его высокой обеспеченности питательными веществами, в первую очередь – азотом.

Таблица

Содержание гумуса, питательных элементов и значение pH

| Образец | pH  | Гумус,<br>% | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,<br>мг/кг | K <sub>2</sub> O,<br>мг/кг | N-NO <sub>3</sub> ,<br>мг/кг | N-NH <sub>4</sub> ,<br>мг/кг | Микроэлементы,<br>мг-экв/ 100кг |     | S,<br>мг/кг |
|---------|-----|-------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----|-------------|
|         |     |             |                                          |                            |                              |                              | Ca                              | Mg  |             |
| 1       | 8,1 | 1,9         | 51,4                                     | 270                        | 11,0                         | 7,70                         | 9,7                             | 0,8 | 8,8         |
| 2       | 7,5 | 1,8         | 48,4                                     | 230                        | 18,2                         | 16,6                         | 10,3                            | 1,1 | 30,8        |
| 3       | 8,6 | 2,2         | 44,0                                     | 270                        | 17,4                         | 11,0                         | 14,1                            | 1,4 | 11,3        |
| 4       | 8,2 | 1,3         | 45,6                                     | 230                        | 6,20                         | 5,60                         | 8,3                             | 0,9 | 30,5        |
| 5       | 7,9 | 2,1         | 40,0                                     | 160                        | 14,8                         | 11,6                         | 9,4                             | 0,8 | 159         |
| 6       | 7,8 | 1,7         | 51,4                                     | 150                        | 8,50                         | 5,40                         | 8,0                             | 1,6 | 14,2        |
| 7       | 8,1 | 6,2         | 40,0                                     | 1600                       | 102,0                        | 12,2                         | 17,3                            | 2,3 | 240         |
| 8       | 7,9 | 7,4         | 30,0                                     | 1120                       | 41,7                         | 11,0                         | 31,6                            | 2,3 | 915         |
| 9       | 7,9 | 7,4         | 32,4                                     | 1240                       | 46,8                         | 11,4                         | 28,6                            | 2,5 | 924         |
| 10      | 7,8 | 6,4         | 26,4                                     | 880                        | 89,1                         | 14,1                         | 31,9                            | 2,2 | 966         |
| 11      | 7,7 | 6,9         | 22,8                                     | 1320                       | 85,1                         | 16,0                         | 31,9                            | 3,1 | 966         |
| 12      | 7,8 | 4,9         | 35,0                                     | 1360                       | 339,0                        | 11,4                         | 37,5                            | 1,4 | 990         |
| 13      | 7,8 | 5,1         | 36,0                                     | 1400                       | 347,0                        | 12,3                         | 33,4                            | 2,0 | 984         |
| 14      | 8,0 | 3,3         | 41,2                                     | 700                        | 64,6                         | 14,3                         | 18,4                            | 2,7 | 690         |
| 15      | 7,9 | 4,2         | 37,0                                     | 760                        | 83,2                         | 15,0                         | 23,8                            | 1,6 | 882         |
| среднее | 7,9 | 4,2         | 38,8                                     | 779                        | 85,0                         | 11,7                         | 20,9                            | 1,8 | 521         |

Необходимо отметить, что слишком высокое содержание гумуса может быть причиной загрязнения окружающей среды аммонийным азотом. Высокое содержание аммонийного азота может также обуславливать проявление токсических эффектов у растений: хлороза листьев, уменьшения их площади, укорочения корневой системы, уменьшения соотношения корней и побегов, биомассы и др. Оценку опасности аммонийного азота в почве в соответствии с МУ 2.1.7.73099 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: Методические указания» рекомендуется проводить

путем сравнения его содержания в исследуемом объекте и в незагрязненной почве. Содержание аммонийного азота в светло-каштановых пахотных почвах по литературным данным составляет 5,5 – 24,5 мг/кг [19 – 21]. Обычно возделываемые почвы характеризуются более низким содержанием аммонийного азота, чем целинные, поэтому установленные в данном исследовании концентрации в почвоподобном материале не вызывают беспокойства, так как находятся ниже уровня проявления токсических эффектов.

Азот относится к биогенным макроэлементам. Он входит в состав белков, нуклеиновых кислот, витаминов, хлорофилла, что делает его необходимым для жизнедеятельности растений и других организмов. Об обеспеченности азотом почвы можно судить по содержанию нитратного азота и суммы нитратного и аммонийного азота [22]. Содержание нитратного азота в почвоподобном материале изменяется от 6,20 мг/кг до 347 мг/кг при среднем значении равном 85,0 мг/кг и соответствует диапазону обеспеченности от низкой (менее 8 мг/кг) до высокой (более 12 мг/кг), и высокой – при среднем значении показателя [22]. Оценка обеспеченности азотом почвоподобного материала по сумме концентраций нитратного и аммонийного азота выявила среднюю обеспеченность при минимальном значении параметра ( $10 \text{ мг/кг} < 11,8 \text{ мг/кг} < 20 \text{ мг/кг}$ ) и высокую при максимальном значении параметра ( $359,3 \text{ мг/кг} > 20 \text{ мг/кг}$ ). Для среднего значения суммы нитратного и аммонийного азота (96,7 мг/кг) обеспеченность соответствует высокой.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» концентрация нитратов в почве не выше 130 мг/кг является безопасной. В двух образцах этот показатель для почвоподобного

---

материала превышен в 2,6 и 2,7 раза, в остальных – в 1,3 – 20,1 раза ниже ПДК. Среднее содержание нитратов в почвоподобном материале ниже ПДК в 1,5 раза, что свидетельствует в целом о безопасной концентрации нитрат-ионов.

Обеспеченность почвоподобного материала подвижным фосфором варьирует от средней при минимальном его содержания ( $15 \text{ мг/кг} < 22,8 \text{ мг/кг} < 30 \text{ мг/кг}$ ) до высокой – при максимальном ( $45 \text{ мг/кг} < 51,4 \text{ мг/кг} < 60 \text{ мг/кг}$ ). Среднее его содержание соответствует повышенной обеспеченности ( $30 \text{ мг/кг} < 38,3 \text{ мг/кг} < 45 \text{ мг/кг}$ ) [23]. Оптимальным содержанием подвижного фосфора в светло-каштановых почвах, согласно опубликованным данным, является  $30 - 35 \text{ мг/кг P}_2\text{O}_5$  [24], что близко среднему содержанию фосфора в почвоподобном материале. Также показано, что при содержании подвижного фосфора в почве в концентрациях ниже  $1300 \text{ мг/кг}$  негативного воздействия на растения не наблюдается [25].

По обеспеченности калием почвоподобный материал относится преимущественно к очень высокообеспеченным (более  $600 \text{ мг/кг}$ ), за исключением 5 образцов с низкой и средней обеспеченностью (от  $100 \text{ мг/кг}$  до  $300 \text{ мг/кг}$ ) [23]. В среднем, обеспеченность почвоподобного материала калием соответствует очень высокому уровню ( $779 \text{ мг/кг} > 600 \text{ мг/кг}$ ). Согласно данным [26] средневзвешенное содержание подвижных форм калия в светло-каштановых почвах Волгоградской области составляет  $409 \text{ мг/кг}$ , что для почв данного типа соответствует оптимальной для возделывания основных с/х культур. В настоящем исследовании средняя концентрация подвижного калия выше оптимальной в 2 раза. Высокое содержание подвижного калия в почве может препятствовать усвоению других минеральных питательных веществ, ограничивать рост растений, нарушать процесс транспирации, оказывать токсическое действие на микроорганизмы

---

и может привести к нарушению минерализации органических веществ и образования гумуса.

Обеспеченность кальцием и магнием в почвоподобном материале находится в диапазоне от среднего до очень высокого и от низкого до повышенного, соответственно [27]. Среднее содержание обменных катионов в почвоподобном материале соответствует высокой обеспеченности для кальция и средней для магния, что требует мероприятий по повышению содержания последнего. Оптимальное соотношение кальция и магния в светло-каштановой почве составляет 5:1 по массе [28]. В настоящем исследовании среднее соотношение Ca и Mg составило почти 12:1. Однако согласно данным [29] при соотношении кальция и магния от 1 до 20 доступность магния в почве остается удовлетворительной при достаточном содержании общего магния.

Содержание подвижной серы в почвоподобном материале соответствует средней (3 образца) и высокой обеспеченности (все остальные). При этом среднее значение содержания подвижной серы превышает ПДК для валовых форм серы в почве (160 мг/кг) в 3,25 раза. Это указывает на возможность загрязнения сульфатами подземных и поверхностных вод, поскольку почва слабо удерживает сульфат-ионы. Рассчитанные значения массовой доли сульфатов в почвоподобном материале изменяются от 0,003% до 0,3%. Это означает, что часть почвоподобного материала по засоленности может быть классифицирована как солончаковатая. По среднему значению содержания подвижной серы, доля сульфатов равна 0,16%, что ниже критерия солончаковатых почв. Однако риски угнетения развития растений имеются, и требуется проведение мелиоративных мероприятий.

Анализ значения рН водной вытяжки указал на преимущественно слабощелочную среду почвоподобного материала, за исключением двух образцов, имеющих нейтральную и щелочную среду, соответственно. Слабощелочная среда может способствовать засолению, снижает доступность для растений таких элементов, как фосфор и азот, и нарушает минеральное питание.

Таким образом, изученные образцы почвоподобного материала имеют высокую степень гумусированности и обеспеченности питательными элементами, за исключением магния, обеспеченность которым является средней. Это свидетельствует о наличии плодородного потенциала материала и возможности его использования в качестве плодородного грунта при проведении рекультивации. Слабощелочная среда, высокое содержание калия и подвижной серы и низкое содержание магния обуславливают необходимость разработки мероприятий по нормализации указанных показателей и подбора растений для фиторемедиации.

### **Литература**

1. Chandana N., Goli V. S. N. S., Mohammad A., Singh D. N. Characterization and Utilization of Landfill-Mined-Soil-Like-Fractions (LFMSF) for Sustainable Development: A Critical Appraisal // Waste and Biomass Valorization. 2021. №12. pp. 641– 662.
2. Hogland W., Marques M., Nimmermark S. Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2004. №6. pp. 119 –124.
3. Jain P., Townsend, T. G., Johnson P. Case study of landfill reclamation at a Florida landfill site // Waste Management. 2013. №33 (1). pp. 109 –116.
4. Datta M., Somani M., Ramana G. V., Sreekrishnan, T. R. Feasibility of re-using soil-like material obtained from mining of old MSW dumps as an earth-fill

and as compost // Process Safety and Environmental Protection. 2021. №147. pp. 477 – 487.

5. Kurian J., Esakku S., Palanivelu K., Selvam A. Studies on landfill mining at solid waste dumpsites in India // Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy, 2003. pp. 248 – 255.

6. Rawat P., Mohanty S. Parametric study on dynamic characterization of municipal solid waste fine fractions for geotechnical purpose // Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 2022, №26 (1), 04021047. URL: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000659

7. Song Y. S., Yun J. M., Hong W. P., Kim T. H. Investigation of solid waste soil as road construction material // Environmental Geology. 2003. №44, pp. 203 – 209.

8. Liu L., Li W., Song W., Guo M. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability // Science of the total environment. 2018. №633. pp. 206 – 219.

9. Liu Q., Li Q., Wang N., Liu D., Zan L., Chang L., Gou X., Wang P. Bioremediation of petroleum-contaminated soil using aged refuse from landfills // Waste management. 2018. №77, pp. 576 – 585.

10. Goli V. S. N. S., Singh P., Singh D. N. A comprehensive methodology for determining buffering capacity of landfill-mined-soil-like-fractions // Science of The Total Environment, 2022, №833, 155188. URL: 10.1016/j.scitotenv.2022.155188

11. Somani M, Datta M, Ramana G, Sreekrishnan T. Investigations on fine fraction of aged municipal solid waste recovered through landfill mining: Case study of three dumpsites from India // Waste Management & Research. 2018. №36 (8). pp. 744 – 755.

12. Калинин А.А., Грачева Н.В., Сиволобова Н.О., Селезнева Н.А. Исследование мелкой фракции свалочных масс свалки в границах г. Волгограда // Инженерный вестник Дона, 2021, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7378.

13. Gracheva N., Khantimirova S., Zheltobryukhov V. A new approach for the assessment of the environmental risk of a soil-like fraction in landfills due to PTE contamination // Environmental Monitoring and Assessment, 2024, №196, 904. URL: 10.1007/s10661-024-13084-1.

14. Грачева Н.В., Сиволобова Н.О., Картушина Ю.Н., Грачев В.М., Люшина В.В., Балбекина Е.В. Новый подход к оценке уровня загрязнения тяжёлыми металлами почвоподобной фракции со свалок // Инженерный вестник Дона, 2024, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8968.

15. Хантимирова С.Б. Мониторинг загрязнения почвы на объекте размещения отходов Ворошиловского района города Волгограда // Инженерный вестник Дона, 2021, № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7149.

16. Zheltobryukhov V.F., Tuzhikhov O.O., Khantimirova S.B. Reclamation of an unauthorized dump of production and consumption waste with the receipt of soil-recultivator from the screening of landfill masses // AIP Conference Proceedings. VII International Conference «Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures». Ural Federal University. – [USA: AIP Publishing], 2023. Article 020037 URL: 10.1063/5.0121409.

17. Афанасьева Т.И., Труфанов А.М., Иванова М.Ю., Цвик Г.С. Динамика содержания гумуса почвы при различном по интенсивности её сельскохозяйственном использовании // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 3(55). С. 5 – 11.

18. Когут Б. М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. 2012. – № 9. С. 944 – 952.

19. Сидоров А.Н., Чамурлиев О.Г., Чамурлиев Г.О., Холод А.А., Васина И.А. Изучение эффективности инновационных марок минеральных удобрений при возделывании нута на светло-каштановых почвах волгоградской области // Известия НВ АУК. 2024. №2(74). С.141 – 147.

20. Сорокин А.И., Гольдварг Б.А., Унканжинов Г.Д. Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы в условиях светло-каштановых почв Калмыкии // Плодородие. 2012. № 4. С. 23 – 24.

21. Оконов М.М., Халгаева К.Э., Унканжинов Г.Д. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы при использовании бинорама, биосила и бишофита на фоне минеральных удобрений // Плодородие. 2012. №1. С. 15 – 16.

22. Гамзиков Г.П. Почвенная диагностика азотного питания растений и применения азотных удобрений в севооборотах // Плодородие. 2018. №1 (100). С. 8 – 13.

23. Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. Москва: ВНИИА, 2013. 296 с.

24. Музраев В. Н. Влияние различных доз и сочетаний минеральных удобрений на урожай и качество ярового ячменя в сухостепной зоне Республики Калмыкия: дис. ... канд. с.-х. наук: специальность 06.01.04. М., 2022. 163 с.

25. Титова В. И. К вопросу о рациональном использовании почв с очень высоким содержанием фосфора в интенсивном земледелии // Агрохимический вестник. 2017. №1. С. 2 – 6.

26. Сухова О.В., Болдырев В.В., Акулов А.В., Водолазко А.Н., Шошин А.А. Динамика агрохимических показателей плодородия почв Волгоградской

области в зоне обслуживания центра агрохимической службы «Волгоградский» // XI Международный симпозиум НП «Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов». Ялта: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2017. С. 182 – 189.

27. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование): науч.-метод. реком. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2021. 116 с.

28. Околелова А.А., Егорова Г.С., Желтобрюхов В.Ф., Рахимова Н. А. Химические свойства почв УНПЦ «Горная Поляна» // Известия НВ АУК. 2015. №2(38). С. 69 – 72.

29. Воеводина Л.А., Воеводин О.В. Магний для почвы и растений // Мелиорация и гидротехника. 2015. №2(18). С. 70 – 81.

### References

1. Chandana N., Goli V. S. N. S., Mohammad A., Singh D. N. Waste and Biomass Valorization. 2021. №12. pp. 641– 662.

2. Hogland W., Marques M., Nimmermark S. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2004. №6. pp. 119 –124.

3. Jain P., Townsend, T. G., Johnson P. Waste Management. 2013. №33 (1). pp. 109 –116.

4. Datta M., Somani M., Ramana G. V., Sreekrishnan, T. R. Process Safety and Environmental Protection. 2021. №147. pp. 477 – 487.

5. Kurian J., Esakku S., Palanivelu K., Selvam A. Ninth International Waste Management and Landfill Symposium. Margherita di Pula, Cagliari, Sardinia, Italy, 2003. pp. 248 – 255.

6. Rawat P., Mohanty S. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 2022, №26 (1), 04021047. URL: 10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000659

7. Song Y. S., Yun J. M., Hong W. P., Kim T. H. Environmental Geology. 2003. №44, pp. 203 –209.
8. Liu L., Li W., Song W., Guo M. Science of the total environment. 2018. №633. pp. 206 – 219.
9. Liu Q., Li Q., Wang N., Liu D., Zan L., Chang L., Gou X., Wang P. Waste management. 2018. №77, pp. 576 – 585.
10. Goli V. S. N. S., Singh P., Singh D. N. Science of The Total Environment, 2022, №833, 155188. URL: [10.1016/j.scitotenv.2022.155188](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155188)
11. Somani M, Datta M, Ramana G, Sreekrishnan T. Waste Management & Research. 2018. №36 (8). pp. 744 –755.
12. Kalinin A.A., Gracheva N.V., Sivolobova N.O., Selezneva N.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7378](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2021/7378).
13. Gracheva N., Khantimirova S., Zheltobryukhov V. Environmental Monitoring and Assessment, 2024, №196, 904. URL: [10.1007/s10661-024-13084-1](https://doi.org/10.1007/s10661-024-13084-1).
14. Gracheva N.V., Sivolobova N.O., Kartushina Yu.N., Grachev V.M., Lyushnina V.V., Balbekina E.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8968](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8968).
15. Khantimirova S.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7149](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7149)
16. Zheltobryukhov V.F., Tuzhikhov O.O., Khantimirova S.B. AIP Conference Proceedings. VII International Conference «Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures». Ural Federal University. [USA: AIP Publishing], 2023. Article 020037 URL: [10.1063/5.0121409](https://doi.org/10.1063/5.0121409).
17. Afanas'yeva T.I., Trufanov A.M., Ivanova M.YU, Tsvik G.S. Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. 2021. № 3(55). pp. 5 – 11.

18. Kogut B. M. Pochvovedeniye. 2012. № 9. pp. 944 – 952.
  19. Sidorov A.N., Chamurliyev O.G., Chamurliyev G.O., Kholod A.A., Vasina I.A. Izvestiya NV AUK. 2024. №2(74). pp.141 – 147.
  20. Sorokin A.I., Gol'dvarg B.A., Unkanzhinov G.D. Plodorodiye. 2012. № 4. pp. 23 – 24.
  21. Okonov M.M., Khalgayeva K.E., Unkanzhinov G.D. Plodorodiye. 2012. №1. pp. 15 – 16.
  22. Gamzikov G.P. Plodorodiye. 2018. №1 (100). pp. 8 – 13.
  23. Sychev V.G., Shafran S.A. Agrokhimicheskiye svoystva pochv i effektivnost' mineral'nykh udobreniy [Agrochemical properties of soils and efficiency of mineral fertilizers]. Moskva: VNIIA, 2013. 296 p.
  24. Muzrayev V.N. Vliyaniye razlichnykh doz i sochetaniy mineral'nykh udobreniy na urozhay i kachestvo yarovogo yachmenya v sukhostepnoy zone Respubliki Kalmykiya [Effect of different doses and combinations of mineral fertilizers on yield and quality of spring barley in the dry-steppe zone of the Republic of Kalmykia]: dis. ... kand. s.-kh. nauk: spetsial'nost' 06.01.04. M., 2022. 163 p.
  25. Titova V. I. Agrokhimicheskiy vestnik. 2017. №1. pp. 2 – 6.
  26. Sukhova O.V., Boldyrev V.V., Akulov A.V., Vodolazko A.N., Shoshin A.A. XI Mezhdunarodnyy simpozium NP «Sodruzhestvo uchenykh agrokhimikov i agroekologov» (XI International Symposium of the Non-Profit Partnership “Community of Agricultural Chemists and Agroecologists”). Yalta: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut agrokhimii imeni D.N. Pryanishnikova, 2017. pp. 182 – 189.
  27. Priyemy povysheniya plodorodiya pochv (izvestkovaniye, fosforitovaniye, gipsovaniye): nauch.-metod. Rekom [Methods for improving soil fertility (liming, phosphorization, gypsum application): scientific and methodological
-



recommendations]. М.: FGBNU «Rosinformagrotekh». 2021. 116 p.

28. Okolelova A.A., Yegorova G.S., Zheltobryukhov V.F., Rakhimova N.A. Izvestiya NV AUK. 2015. №2(38). pp. 69 – 72.

29. Voyevodina L.A., Voyevodin O.V. Melioratsiya i gidrotekhnika. 2015. №2(18). pp. 70 – 81.

**Дата поступления: 10.06.2025**

**Дата публикации: 11.08.2025**