

17. Saraev A.D., Shcherbina O.A. Sistemnyy analiz i sovremennyye informatsionnyye tehnologii. / Trudy Krymskoj Akademii nauk. – Simferopol: SONAT, 2006. – S. 47-59.

18. Olgarenko I.V., Selyukov I.V. Programmnoye obespecheniye protsessa planirovaniya vodopoljzovaniya na orositelnykh sistemah // Prirodoobustrojstvo. – 2011. – № 4. – S. 38-40

19. Galumyan A.M. Integrirovannyye informatsionnyye sistemy: analiz i perspektivy vnedreniya v protsess upravleniya predpriyatiem // Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tehnologii. 2014. № 5 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/05/4956> (data obrashcheniya: 15.11.2015).

20. Kerzner H.P. Project Management A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. John Wiley & Sons, Inc. 2013.

21. Marchewka J.T. Information Technology Project Management. John Wiley & Sons, 2014 г. 376 p.

22. Turban E. Decision support and expert systems: management support systems. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1995.

23. Astapov V.A., Belov D.E., Mishchenko A. Razrabotka algoritmov diagnostiki informatsionnykh system, primenyayushchih v sel'skom hozyajstve. / Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo NII zhivotnovodstva i kormoproizvodstva. – 2014. Vyp. № 7 (1). т 1. – S. 67-98.

24. Balakaj G.T., Yurchenko I.F., Lentyaeva E. A, Yalalova G.H. Povysheniye otvetstvennosti sel'hoztovaroizvoditelej za vosproizvodstvo pochvennogo plodorodiya melioriruemyykh zemel. //Agrohimicheskij vestnik. – 2015. – Tom 2. № 2. – S.29-33.

The material was received at the editorial office 10.01.2018

Information about the author

Yurchenko Irina Fedorovna, doctor of technical sciences, associate professor, chief researcher of the department of Environmental and information technologies VNIIGiM named after A.N. Kostyakov; 127550, Moscow, ul. B. Akademicheskaya, 44. корпус 2, e-mail: irina.507@mail.ru, тел.: 8(499) 9775492

УДК 502/504: 631.6.02: 631.674.5

DOI 10.26897/1997-6011/2018-3-100-105

М.С. ЗВЕРЬКОВ^{1,2}

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр экологии и строительства», г. Коломна, Российская Федерация

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», г. Коломна, Российская Федерация

ДАВЛЕНИЕ КАПЕЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ О ПОЧВУ

В статье рассматривается вопрос определения давления искусственного дождя на почву. Отмечается, что проблема ирригационной эрозии имеет большое значение. Актуальность исследования состоит в том, что оно направлено на предупреждение и ликвидацию ускоренной (антропогенной) эрозии и осуществления требуемых противоэрозионных мер. При ударе капель дождя в почве возникают напряжения, называемые вертикальным эффективным давлением p_e . В данном исследовании при известном спектре дождевых капель предложена формула для определения p_e . Используя спектр искусственных осадков дождевальнoй машины «Фрегат» при интенсивности 0,2 мм/мин и высоте падения капель 2,2 м, получено значение давления $p_e = 1,4$ Па (коэффициент вариации $C_v = 0,43$, уровень значимости $p < 0,05$). По способу Б.М. Лебедева для тех же условий давление составило 0,2 Па ($C_v = 0,01$, $p < 0,05$). Отмечается, что величина давления по предлагаемой методике существенно зависит от ширины исследуемого спектра (коэффициент корреляции $r = 0,94$) и количества капель ($r = -0,73$). Рассматриваемая в статье методика позволяет провести исследования, направленные на изучение величины допустимого давления дождя на почву.

Эффективное давление дождя, ирригационная эрозия, дождевание, спектр дождя, диаметр капель, удар капли, интенсивность дождя, искусственные осадки.

Введение. В связи с возрастающими объемами мелиоративных мероприятий

все большее значение приобретает проблема борьбы с ирригационной эрозией. Наряду

с природными почвообразующими факторами (ливневые осадки и др.) она приводит к деградации почв. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на предупреждение и ликвидацию ускоренной (антропогенной) эрозии и осуществления требуемых противоэрозионных мер. Проблеме исследования деградации почв при дождевании посвящены многие работы, например [1, 2, 3, 4, 5 и др.]. Наибольший удельный вес исследований принадлежит направлению противоэрозионного устройства территории и правильной эксплуатации мелиоративных систем. Эрозионная опасность искусственных осадков в значительной степени определяется крупностью и интенсивностью дождя. Использование дождевальных агрегатов, которые создают дождь большой интенсивности и капли крупных размеров, обладающих большой кинетической энергией, приводит к разрушению структуры почв и появлению поверхностного стока.

Материалы и методы исследования.

При ударе капель дождя в почве возникают напряжения, называемые вертикальным эффективным давлением p_e , которое можно найти по выражению:

$$p_e = p_f - p_p, \quad (1)$$

где p_f – полное давление, оказываемое каплями на почвенный скелет (в твердой фазе); p_p – полное давление в поровой влаге (в жидкой фазе).

Давление, оказываемое каплями на почвенный скелет, и давление в поровой влаге можно определить, используя формулы, описанные в работах [1, 6, 7, 8 и др.]. В исследовании [7] показано, что для капли диаметром 1,73 мм, падающей с высоты 1,0...2,5 м, эффективное давление находится в пределах соответственно $90,95 \pm 4,01 \dots 168,60 \pm 7,04$ кПа, для капли 2,73 мм – $114,92 \pm 3,59 \dots 205,09 \pm 19,99$ кПа. Вслучаевоздействиядождянапочву(рис. 1) значение величины давления оказывается ниже за счет большей площади воздействия. В данном исследовании при известном спектре дождевых капель предлагается определять эффективное давление по следующей зависимости:

$$p_{e,\Sigma} = \sum_{j=1}^n p_{e,j} = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^n n_j N_j, \quad (2)$$

где $p_{e,\Sigma}$ – суммарное эффективное давление всех капель, оказываемое искусственным дождем на почву, Па; $p_{e,j}$ – эффективное давление, оказываемое j -ой каплей диаметром $d_{d,j}$, Па; n_j – число капель данного диаметра, шт.; s – площадь покрытия дождем, м²; N_j – сила удара j -ой капли, Н.

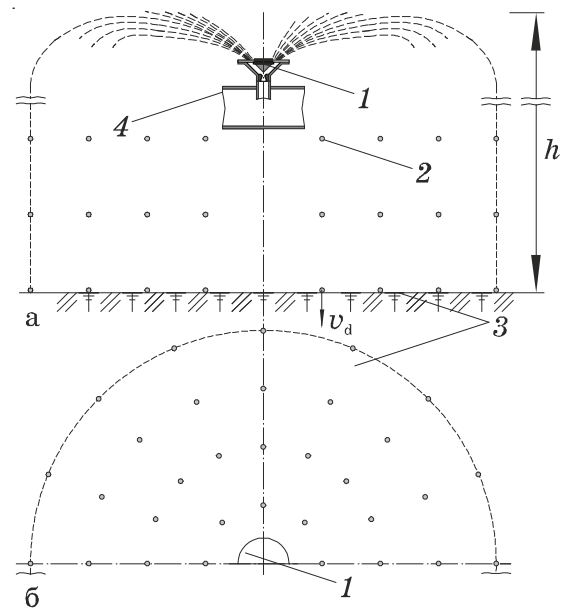


Рис. 1. Схема характера воздействия искусственного дождя на почву:
а – фронтальная проекция;
б – горизонтальная проекция (показана половина проекции); **1** – источник дождя (тип и вариант установки дождеобразующего устройства может быть различным); **2** – капля дождя; **3** – поверхность орошаемой почвы; **4** – водопроводящий пояс дождевальной машины; **h** – высота падения капли; v_d – конечная скорость падения капли

Сила удара капель может быть определена по зависимости:

$$N = \frac{\pi \rho d_d^3 \sqrt{2(gh - 6\sigma / (\rho d_d))}}{6t}, \quad (3)$$

где ρ – плотность капли, кг/м³; π – математическая постоянная, равная 3,14; g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²; h – высота падения капли, м; σ – коэффициент поверхностного натяжения капли для условий исследования 0,07 Н/м; t – время гидродинамического удара о твердую поверхность, с (определяется по методике, изложенной, например, в [9]).

Для расчета эффективного давления использованы данные спектра дождя (рис. 2) дождевальной машины «Фрегат». Обработка результатов исследования велась по стандартными методами математической статистики в программном комплексе Statistica (ver. 12.6). Принятый уровень значимости $p < 0,05$. Эффективное давление рассчитано для следующих условий. Для приближения расчетов к полевым условиям мелкокапельная фракция 0,3...1,0 мм в расчет не принимается, так как она или испаряется или уно-

сится ветром, не долетая до поверхности почвы. Кроме этого по данным ФГБНУ ВНИИ «Радуга» на долю мелкокапельной фракции приходится 10% объема всей оросительной воды, а общее число они составляют порядка 70% [10]. Для уточненного спектра дождя принято допущение, что плотность дождя по увлажняемой площади равномерная, скорость ветра равна нулю, испарение капель отсутствует, растительности нет, гранулометрический состав почвы однородный и ее поверхность без уклона, падение капель принято вертикальным. Интенсивность дождя $i = 0,2$ мм/мин. Высота падения капель принята на уровне установки дождеобразующих устройств 2,2 м. Увлажняемая площадь непосредственно под крылом машины 2615 м². Скорости падения капель получены по методике и с помощью оборудования, описанных в работах [2, 7, 8, 9]. В качестве методики-сравнения принята формула Б.М. Лебедева для расчета давления искусственного дождя о почву [11]:

$$p_c = 9,8 \frac{1}{60} i \frac{\rho}{g} v_d, \quad (4)$$

где 9,8 – коэффициент перевода из кгс/м² в Па (примечание: поправка введена автором, в оригинальной формуле Б.М. Лебедева этого коэффициента нет); v_d – конечная скорость падения капли, м/с.

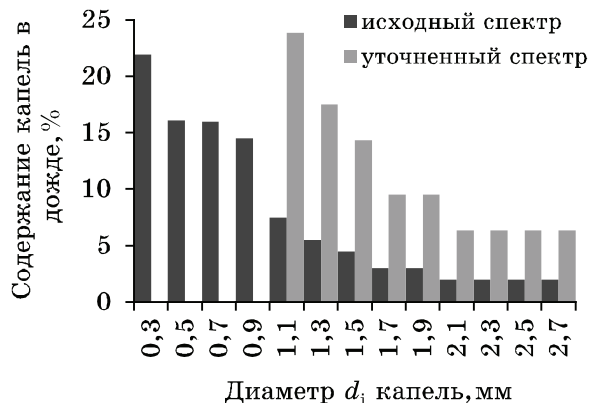


Рис. 2. Исходный и уточненный спектр дождя дождевальнoй машины «Фрегат»

Похожая по физическому смыслу на формулу (2) зависимость описана в [12]. Методика расчета капельно-ударных характеристик искусственного дождя по известному процентному спектру и интенсивности дождя была известна ранее [10, 13, 14]. Общий подход к определению давления и энергетических характеристик осадков – суммирование изучаемых значений харак-

теристик по разным градациям спектра дождя.

Результаты и обсуждение исследований. Средний и медианный диаметры капель составили 1,9 мм и 2,1 мм соответственно, что выше допустимого предела 1,0...1,5 мм. Общая доля мелкокапельной фракции – 68,5% от общего числа капель, в то время, как объемная доля мелкокапельной фракции составила 9,1% от общего объема дождевой воды. Скорости падения капель находились в диапазоне 6,3...6,6 м/с. Результаты расчета давления дождя приведены на рисунке 4. Эффективное давление дождя, полученное по предлагаемому в данном исследовании способу, составило $p\Sigma_c = 1,4$ Па, по методике Б.М. Лебедева – $p\Sigma_c = 0,2$ Па. Эти данные существенно ниже приведенных выше значений давления непосредственно под каплями. Однако по крупности капель данный дождь нельзя назвать безопасным для почвы.

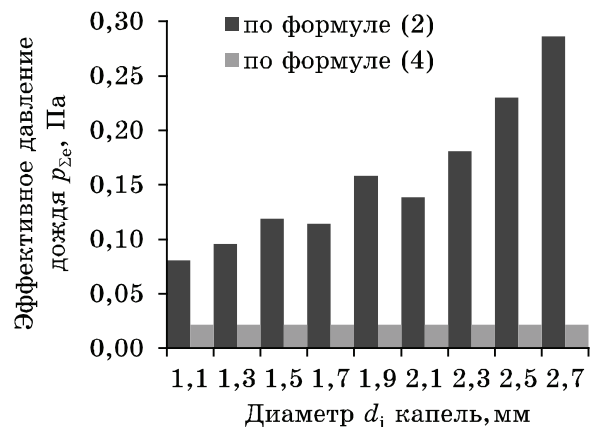


Рис. 3. Распределение давления дождя по величине крупности капель

В ходе данного исследования были выявлены следующие особенности полученных данных. Так, значения эффективного давления дождя (коэффициент вариации $C_v = 0,43$, уровень значимости $p < 0,05$), полученные по формуле (2), существенно зависят от ширины исследуемого спектра (коэффициент корреляции $r = 0,94$) и количества капель ($r = -0,73$ – знак «минус» говорит об обратной корреляционной связи: с увеличением крупности d_{ij} капель уменьшается их общее количество n_j в данном диапазоне фракций). В случае возрастания интенсивности выпадения искусственных осадков возрастает и число зарегистрированных капель, что приводит к увеличению давления. Значения $p\Sigma_c$ ($C_v = 0,01$, $p < 0,05$), полученные по формуле (4), определяются в основном изменением интенсивности до-

жда, хотя данные исследования показывают значимую статистику зависимости давления от ширины исследуемого спектра ($r = 0,99$) и количества капель ($r = -0,89$). Однако, эта формула была выведена для анализа интегрального воздействия дождя на почву по среднему диаметру капель, а не по характеристикам спектра. На рисунке 4 приведены данные эффективного давления, полученные с помощью формул (2) и (4), в зависимости от медианного и среднего диаметра капель. Данные расчета по формуле (2) оказались несколько больше установленных выше значений эффективного давления – 1,7 и 2,2 Па для среднего и медианного диаметра капель соответственно (против 1,4 Па при первом расчете). Результаты расчета давления по методике Б.М. Лебедева напротив оказались меньше и составили 0,02 Па (против 0,2 Па при первом расчете). Эти результаты свидетельствуют о том, что достоверно судить о давлении дождя по одному только выбранному диаметру капель дождя невозможно. Однако величины давления, полученные по предлагаемой методике оказались близки к первоначальным, в то время как данные по формуле (4) оказались в 10 раз меньше первоначальных значений.

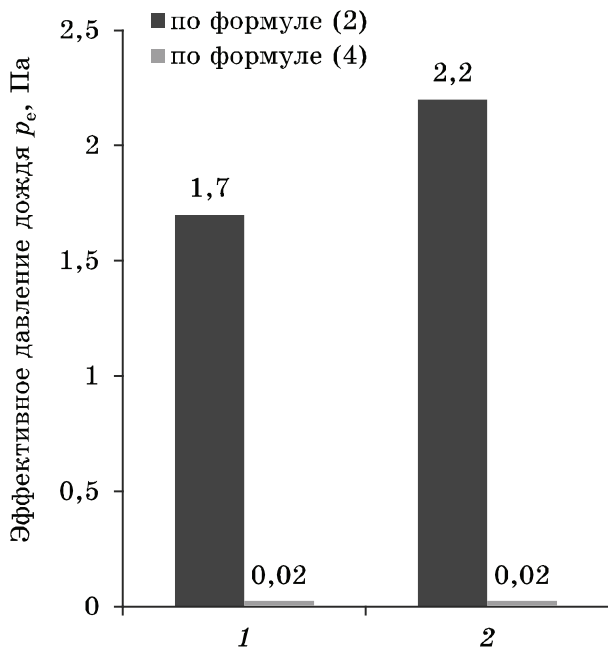


Рис. 4. Эффективное давление дождя, вычисленное по среднему 1 и медианному 2 диаметрам капель

Выводы

Рассматриваемая в статье методика позволяет провести исследования, направ-

ленные на изучение оказываемого дождем на почву величины допустимого давления. Предварительный анализ формулы (2) показал, что изменение интенсивности дождя вдоль крыла дождевальная машины будет увеличивать число n_j определяемых капель, что скажется на увеличении интегрального значения эффективного давления pS_e . Это соответствует особенностям дождевания: чем больше капель выпадет на поверхность почвы, тем большее воздействие дождь окажет на почву. В предлагаемой методике учитывается площадь покрытия дождем, но необходимо проведение дополнительных исследований зависимости (2) от интенсивности дождя. Формула Б.М. Лебедева позволяет определить интегральное воздействие дождя по интенсивности искусственных осадков, однако ее использование при оценке воздействия дождя по известному спектру затруднительно. Существенным недостатком этого способа расчета является невозможность учета площади воздействия дождя, что нарушает физический смысл изучаемого явления.

Библиографический список

1. Nearing M.A. The mechanics of soil detachment by raindrops and runoff. // Eurasian soil science. – 1997. – Vol. 30. – № 5. – P. 552-556.
2. Касьянов А.Е., Зверьков М.С. Обоснование для контроля эрозионной опасности дождя. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 13-16.
3. Алиев З.Г.О., Хокума К. Оценка состояния водно-земельных ресурсов Азербайджана. // Экология и строительство. – 2016. – № 3. – P. 23-26.
4. Шахмалиева С.М. Требования к сельскохозяйственному производству и рациональному природопользованию в условиях Азербайджанской Республики. // Экология и строительство. – 2016. – № 2. – С. 28-32.
5. Алиев З.Г., Мамедова Г.И. кызы, Хокуме Айхан. Научное обоснование рациональной технологии орошения для регионов горного земледелия в Азербайджанской Республике. // Экология и строительство. – 2016. – № 1. – С. 20-25.
6. Nearing M.A., Bradford J.M. Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. // Soil. Sci. Soc. Am. J. – 1985. – Vol. 49. – P. 547-552.
7. Брыль С.В., Зверьков М.С. Вертикальное эффективное давление удара капли о почву // Природобустройство. – 2016. – № 2. – С. 62-67.

8. **Ольгаренко Г.В., Брыль С.В., Зверьков М.С.** Касательные напряжения в почве при ударе о нее капли искусственного дождя. // Экология и строительство. – 2017. – № 4. – С. 27-36.

9. **Брыль С.В., Зверьков М.С.** Теоретические подходы к расчету вертикального эффективного давления удара капель искусственного дождя о почву и твердую поверхность. // Экология и строительство. – 2016. – № 1. – С. 16-20.

10. **Городничев В.И., Исаев А.П., Кистанов А.А.** О некоторых результатах лабораторно-полевых испытаний системы измерения качества дождя. // Новое в технике и технологии полива: сб. научн. трудов. – М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 1976. – Вып. 9. – С. 158-163.

11. **Лебедев Б.М.** Дождевальные машины. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.

12. **Трегубов П.С., Аверьянов О.А.** Ирригационная эрозия почв и меры ее пре-

дотвращения: Обзорная информация. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – 56 с.

13. **Швебс Г.И.** Ирригационная эрозия. // Современные проблемы гидрологии орошаемых земель. – М., 1981. – Ч. 2. – С. 74-91.

14. **Швебс Г.И.** Теоретические вопросы эрозиоведения. – Киев–Одесса: Вища школа, 1981. – 222 с.

Материал поступил в редакцию
23.04.2018 г.

Сведения об авторе

Зверьков Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ученый секретарь ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 140483, Московская область, Коломенский р-н, пос. Радужный, д. 38; ООО «Научно-исследовательский центр экологии и строительства», 140491, Московская область, Коломенский район, с. Сергиевское, ул. Новая, д. 21; e-mail: mzverkov@bk.ru

M.S. ZVERKOV^{1,2}

¹ Limited liability company «Scientific-research center of environmental engineering and construction», Kolomna, Russian Federation

² Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga», Kolomna, Russian Federation

PRESSURE CAUSED BY ARTIFICIAL RAINDROP IMPACT AT THE SOIL

The article considers a problem of calculation of pressure caused by artificial raindrop impact at the soil. It is noted that problem of irrigation erosion has the great value. The relevance of the study is that it is aimed at preventing and eliminating anthropogenic erosion and the realization of the required erosion control measures. At the moment of rain drops impact there is the tension which is called vertical effective pressure p_e . The equation for calculation p_e is proposed in this study using range of raindrops. Effective pressure $p_e = 1,4 Pa$ (coefficient of variation $C_v = 0,43$, significance level $p < 0,05$) of the artificial rain by the sprinkler machine «Fregat» was calculated using the range of raindrops at an intensity of 0.2 mm/min and 2.2 m height of a drops falling. According to the method of B.M. Lebedev the pressure was 0.2 Pa ($C_v = 0,01$, $p < 0,05$) for the same conditions. It is noted that the pressure value according to the proposed method significantly depends on the width of the range of raindrops (correlation coefficient $r = 0,94$) and the number of drops ($r = - 0,73$). The method considered in this article allows to research the value of harmless effective pressure caused by rain impact on the soil.

Effective pressure of rain, irrigation erosion, sprinkling, range of raindrops, the diameter of the drops, raindrop impact, rain intensity, artificial precipitation.

Reference list

1. **Nearing M.A.** The mechanics of soil detachment by raindrops and runoff. // Eurasian soil science. – 1997. – Vol. 30. – № 5. – P. 552-556.

2. **Kasyanov A.E., Zverkov M.S.** Equipment to control the risk of erosion of rain. // Melioraciya i vodnoe hozyajstvo. – 2015. – № 2. – P. 13-16.

3. **Aliev Z.G., Hokuma Karimova.** Assessment of water and land resources of Azer-

baijan. // Ekologiya i stroitelstvo. – 2016. – № 3. – P. 23-26.

4. **Shahmaliyeva S.M.** Requirements for agricultural production and environmental management in the conditions of the Republic of Azerbaijan. // Ekologiya i stroitelstvo. – 2016. – № 2. – P. 28-32.

5. **Aliev Z.G., Giunai Mamaedova, Khokume Aikhan.** Scientific substantiation of rational technology of irrigation for the regions of mountain agriculture in the Republic

of Azerbaijan. // *Ekologiya i stroitelstvo*. – 2016. – № 1. – P. 20-25.

6. **Nearing M.A., Bradford J.M.** Single waterdrop splash detachment and mechanical properties of soils. // *Soil. Sci. Soc. Am. J.* – 1985. – Vol. 49. – P. 547-552.

7. **Bryl S.V., Zverkov M.S.** Vertical effective pressure of drop impact on soil // *Prirodobustroystvo*. – 2016. – № 2. – P. 62-67.

8. **Olgarenko G.V., Bryl S.V., Zverkov M.S.** Shear stress caused by artificial raindrop impact at the soil surface. // *Ekologiya i stroitelstvo*. – 2017. – № 4. – P. 27-36.

9. **Bryl S.V., Zverkov M.S.** The theoretical approaches for calculation of the vertical effective pressure of drop impact of artificial rain on soil and hard surface. // *Ekologiya i stroitelstvo*. – 2016. – № 1. – P. 16-20.

10. **Gorodnichev V.I., Isaev A.P., Kistanov A.A.** O nekotoryh rezul'tatah laboratorno-polevyh ispytaniy sistemy izmereniya kachestva dozhdya. // *Novoe v tekhnike i tekhnologii poliva: sb. nauchn. trudov*. – M.: VNIIGiM im. A.N. Kostyakova, 1976. – Vyp. 9. – P. 158-163.

11. **Lebedev B.M.** Dozhdeval'nye mashiny. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 244 p.

12. **Tregubov P.S., Averyanov O.A.** Irrigacionnaya ehroziya pochv i mery ee predotvrashcheniya: Obzornaya informaciya. – M.: VNIITEHlagroprom, 1987. – 56 p.

13. **Shvebs G.I.** Irrigacionnaya ehroziya. // *Sovremennye problemy gidrologii oroshaemyh zemel'*. – M., 1981. – CH. 2. – P. 74-91.

14. **Shvebs G.I.** Teoreticheskie voprosy ehrozionovedeniya. – Kiev–Odessa: Vishcha shkola, 1981. – 222 p.

The material was received at the editorial office
23.04.2018

Information about the author

Zverkov Mikhail Sergeevich, candidate of technical sciences, academic secretary; Federal state budgetary scientific institution «All-Russian scientific research Institute «Raduga», Raduzhnyj, 38, Kolomna district, Moscow region, 140483; Limited liability company «Scientific-research center of environmental engineering and construction», 21 Novaya str., Sergievskoe, Kolomna district, Moscow region, 140491; e-mail: mzverkov@bk.ru

УДК 502/504:633.31/37:631.874

DOI 10.26897/1997-6011/2018-3-105-109

А.Н. ИСАКОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Калужский филиал г. Калуга, Российская Федерация

В.Н. ЛУКАШОВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Калужский НИИСХ», Калужская область, Российская Федерация

РОЛЬ БОБОВЫХ ТРАВ И БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ ТРАВосмЕСЕЙ В СОЗДАНИИ КОРМОВОЙ БАЗЫ И БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Цель исследований – определение энергетической эффективности возделывания клевера лугового, люцерны изменчивой, козлятника восточного и травосмесей с их участием, изучение их урожайности и продуктивного долголетия на серых лесных и дерново-подзолистых почвах Калужской области. В опытах применялись традиционные методы полевых исследований. В результате исследований выявлено, что на серых лесных почвах при относительно равных затратах обменной энергии на формирование посевов многолетних трав (16,4-17,2 ГДж/га), выход энергии с урожаем травосмеси с участием клевера, люцерны и кострца безостого (118,2 ГДж/га) в 1,4 раза превосходил соответствующий показатель одновидового посева клевера лугового, в 1,2 раза – козлятника восточного, в 1,1 раза – люцерны изменчивой. Наибольший выход переваримого протеина имели люцерна гибридная (1670 кг/га) и козлятник восточный (1547 кг/га). На низкоплодородной дерново-подзолистой супесчаной почве люцерна изменчивая в смеси с пыреем удлинённым формировала 39 т/га зелёной массы с содержанием обменной энергии и сырого протеина 9,0 МДж/кг сухого вещества и 16,1% соответственно.

Люцерна изменчивая, козлятник восточный, клевер луговой, бобово-злаковые травосмеси, энергетическая эффективность, кормовая продуктивность, биологический азот, биологизация земледелия.