

2. Goryshina T.K. *Ekologiya rasteniy: uchebnoe posobie*. – Moskva: Vyssh. shkola, 1979. – 368 s.
3. Bekhovykh Yu.V. *Osobennosti teploakkumul'yatsii i teploobmena v dernovo-podzolistykh pochvakh na garyakh sukhostepnoy zony Altayskogo kraya* / Yu.V. Bekhovykh, S.V. Makarychev, I.T. Trofimov, A.G. Bolotov // *Materialy II Mezhd. konf. «Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy»*. – Barnaul, 2002.
4. Bolotov A.G. *Izmerenie temperatury pochvy s pomoshchyu tekhnologii 1-WIRE* / A.G. Bolotov // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2012. – No. 11. – S. 29-30.
5. Makarychev S.V., Malinovskikh A.A., Bolotov A.G., Bekhovykh Yu.V. *Poslepozharnye izmeneniya pochv i osobennosti flory garey ravninnykh sosnovykh lesov Altayskogo kraya* // *Polzunovskiy vestnik*. – 2011. – No. 4-2. – S. 107-110.
6. Bolotov A.G. *Gidrofizicheskoe sostoyanie pochv yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri: diss. ... doktora biol. nauk*. – Moskva, MGU imeni M. V. Lomonosova, 2017. – 351 s.
7. Bolotov A.G., Shein E.V., Milanovskiy E.Yu., Tyugay Z.N., Pochatkova T.N. *Osnovnye gidrofizicheskie kharakteristiki kashtanovykh pochv sukhoy stepi Altayskogo kraya* // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2014. – No. 9. – S. 36-41.
8. Wieting, C., Ebel, B., Singha, K. (2017). Quantifying the effects of wildfire on changes in soil properties by surface burning of soils from the Boulder Creek Critical Zone Observatory. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 13: 43-57. 10.1016/j.ejrh.2017.07.006.
9. Woods, S., Balfour, V. (2010). The effects of soil texture and ash thickness on the post-fire hydrological response from ash-covered soils. *Journal of Hydrology*. 393: 274-286. 10.1016/j.jhydrol.2010.08.025.
10. Zavala L.M., Granged A.J.P., Jordán A., Bárcenas-Moreno G. (2010). Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. *Geoderma*. 158: 366-374.
11. Ebel, B. (2012). Impacts of Wildfire and Slope Aspect on Soil Temperature in a Mountainous Environment. *Vadose Zone Journal*. 11. 10.2136/vzj2012.0017.
- Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Алтайского края в рамках научного проекта № 18-44-22007 р\_а.*



УДК 630.181

Ю.В. Беховых  
Yu.V. Bekhovykh

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОРОЗНОСТЬ ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИОБСКОГО ПЛАТО

### THE EFFECT OF EXTERNAL PRESSURE ON THE POROSITY OF LEACHED CHERNOZEM OF THE PRIOBSKOYE PLATEAU

**Ключевые слова:** чернозём выщелоченный, плотность почвы, уплотнение почвы, влажность почвы, почвенное поровое пространство, порозность почвы.

Целью работы было исследование влияния внешнего давления на общую порозность почвы. Объектом изучения был чернозём выщелоченный Приобского плато. Исследования проводились на поле учебно-опытного хозяйства «Пригородное» Алтайского края. В качестве опытных были выбраны участки чёрного пара. Разное давление на почву создавалось воздействием фиксированного веса на специальные уплотнители почвы с различной площадью опоры. В качестве контрольного использовался участок чёрного пара, не подвергавшийся внешнему воздействию. Для создания различной влаж-

ности почвы опытный участок подвергался искусственному увлажнению. Исследование выявило, что увлажнение существенно влияет на изменение общей порозности почвы под воздействием внешнего давления. При более высоком увлажнении почвы происходит более интенсивное снижение общей порозности. Порозность почвы наиболее сильно уменьшается при первых воздействиях. С возрастанием количества внешних воздействий уменьшение порозности происходит менее интенсивно. Значение порозности почвы асимптотически уменьшается при множественном воздействии внешнего давления и стремится к предельному значению, обусловленному наличием тупиковых пор и пор, заполненных водой. Изменение величины общей порозности почвы под влиянием внешнего давления зависит от её начального значе-

ния. Уменьшение значения порозности почвы с ростом величины внешнего давления обладает нелинейным характером и асимптотически стремится к некоторому предельному значению, наличие и величина которого зависят от доли тупиковых пор в общем поровом пространстве и пор, заполненных водой.

**Keywords:** *leached chernozem, soil density, soil compaction, soil moisture, soil pore space, soil porosity.*

The research goal was to study the effect of external pressure on the overall of the total soil space. The research target was leached chernozem of the Priobskoye plateau. The research was carried out on the field of the training and experimental farm "Prigorodnoye" of the Altai Region. The experiments were carried on bare fallow plots. Different pressure on the soil was created by the impact of a fixed weight on special soil seals with different support area. A section of black fallow that was not exposed to external pres-

sure was used as the control. To create different soil moisture, the experimental plot was artificially moisturized. The study has found that moisture significantly affects the change of total soil space under the influence of external pressure. More intense decrease of the total soil space occurs at greater moisture content. Soil porosity decreases most strongly at initial impacts. With increased number of external impacts, the decrease of soil porosity is less intense. The value of soil porosity asymptotically decreases under multiple external pressure impacts and tends to the limit value determined by the presence of dead-end pores and pores filled with water. The change of the total soil space under the influence of external pressure depends on its initial value. The decrease of soil porosity value with the increasing value of external pressure is of nonlinear pattern and asymptotically tends to a certain limit value. The presence and magnitude of this value also depends on the proportion of dead-end pores in the total pore space and pores filled with water.

**Беховых Юрий Владимирович**, к.с.-х.н., доцент, каф. геодезии, физики и инженерных сооружений, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-31-10. E-mail: Phys\_asau@rambler.ru.

**Bekhovych Yuriy Vladimirovich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geodesy, Physics and Engineering Structures, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-31-10. E-mail: Phys\_asau@rambler.ru.

### Введение

Условия ведения современного высокомеханизированного сельскохозяйственного производства создают целый ряд факторов, оказывающих негативное воздействие на почву. Одним из таких факторов является воздействие на почву ходовых систем сельскохозяйственных агрегатов [1]. Серьезной угрозой плодородию почвы стало чрезмерное уплотнение почвы, происходящее под воздействием ходовых систем мощных тракторов, тяжелых сельскохозяйственных машин и транспортно-технических средств [1-4]. Уплотнение почвы существенно изменяет количественные и качественные характеристики почвенного порового пространства, что в свою очередь влечёт за собой изменения параметров воздухо- и влагосодержания [5]. При этом снижается пористость, ухудшаются водно-физические свойства: влагоёмкость, скорость впитывания воды, водопроницаемость, влагопроницаемость. Замедляются аэрация и скорость протекания биологических процессов [5, 6]. Плотная прослойка во влажные периоды препятствует проникновению влаги в нижележащие горизонты почвы, что приводит к застою воды на поверхности, в результате затрудняется соблюдение оптимальных агротехнических сроков посева и уборки. В сухие периоды влага с нижних влажных горизонтов также не может подняться по почвенным капиллярам к корнеобитаемому слою.

Ухудшение агрофизических свойств почв, их водного, воздушного и пищевого режимов в результате уплотняющего воздействия ведет к снижению всхожести культурных растений, повышению засоренности и, в конечном итоге, к серьёзному снижению урожая [7, 8]. Причём снижение урожая в результате изменения свойств влаго- и воздухоудержания почвы при повышенном уплотнении может проявляться в течение нескольких лет [9]. В связи с этим изучение изменения агрофизических свойств почв при её уплотнении является важной агрономической, почвоведческой и экологической задачей.

**Целью** работы было исследование влияния внешнего давления на общую порозность почвы.

### Объект и методы

**Объектом** изучения был чернозём выщелоченный Приобского плато.

В ходе исследования решались следующие **задачи**:

- изучить изменение общей порозности поверхностного слоя почвы различной увлажнённости при многократном воздействии внешнего давления;
- изучить влияние величины внешнего давления на изменение общей порозности поверхностного слоя почвы при различном увлажнении.

Исследования проводились на поле учебно-опытного хозяйства «Пригородное» Алтайского

края. В качестве опытных были выбраны участки чёрного пара. Разное давление на почву создавалось воздействием фиксированного веса на специальные уплотнители почвы с различной площадью опоры. В качестве контрольного использовался участок чёрного пара, не подвергшийся действию внешнего давления. Для создания различной влажности почвы опытный участок подвергался искусственному увлажнению.

Порозность определялась в результате косвенных измерений [10]. Прямые измерения влажности, плотности почвы и плотности её твёрдой фазы осуществлялись стандартными методами [10] согласно ГОСТ 180-2015 [11] и ГОСТ 28268-89 [12] в трёхкратной повторности.

**Экспериментальная часть  
и обсуждение результатов**

Почва на участке исследований относится к чернозёмному типу с характерными признаками выщелоченного подтипа. В профиле исследованной почвы сформированы горизонты: А-АВ-В-Вск-Ск. Содержание гумуса в пахотном горизонте чернозёма выщелоченного на участках наблюдения не превышало 3,4%. Реакция поверхностного слоя почвы была близка к нейтральной (рН 6,7). Пахотный горизонт чернозёма выщелоченного на участке исследований по гранулометрическому составу можно отнести к средним суглинкам (табл. 1). Здесь преобладают фракции песка среднего, крупной пыли и илистая фракция.

Морфологические признаки пахотного горизонта и гранулометрический состав почвы на участках исследования представлены в таблице 1.

При исследовании влияния количества воздействий внешнего давления на порозность верхнего слоя почвы (0-5 см) была выбрана величина внешнего давления 100 кПа, соответствующая воздействию на почву, которое оказывает неспаренное колесо современных тракторов 3-5-го тягового класса [1]. По результатам исследований, представленных в таблице 2, видно, что даже однократное воздействие на поверхностный слой чернозёма выщелоченного внешнего давления величиной 100 кПа при влажности почвы 28% существенно уменьшает её общую порозность. По шкале Качинского качественной оценки пористости [5] такое воздействие переводит почвенный слой из отличного состояния в неудовлетворительное для пахотного слоя. Однако есть исследования, которые определяют оптимальные значения пористости агрегатов пахотных чернозёмных почв в границах 40-46% [13-15]. Согласно этим данным чернозём выщелоченный Приобского плато сохранит свою оптимальную порозность даже после десятикратного воздействия давления 100 кПа при начальных условиях, заложенных в опыте (начальной плотности около 942 кг/м<sup>3</sup>).

При более низком увлажнении под воздействием внешнего давления уплотнение почвы происходит не так интенсивно. В связи с этим и общая порозность уменьшается значительно меньше. Так, при влажности чернозёма выщелоченного, соответствующей 14% от массы сухой почвы, даже после десятикратного воздействия на поверхность почвенного слоя внешнего давления 100 кПа общая порозность оказалась выше, чем после однократного воздействия на почву 28% влажности (табл. 2).

Таблица 1

**Гранулометрический состав и морфологическое описание пахотного слоя чернозёма выщелоченного Приобского плато на участке исследований**

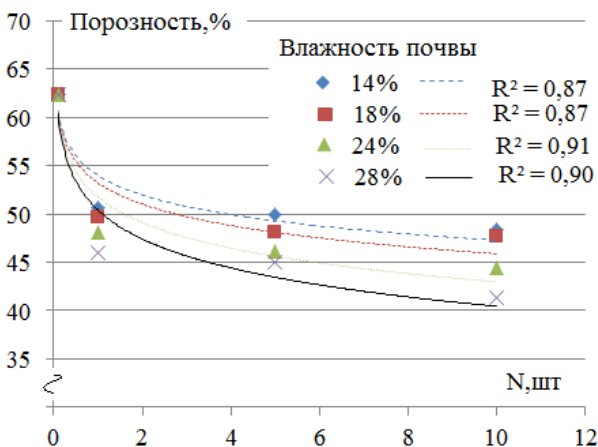
Горизонт	Глубина отбора, см	Содержание фракций в % от абсолютно сухой почвы, мм							Наименование гранулометрического состава почвы и морфологическое описание
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001	сумма фракций менее 0,01	
А	0-29	7,36	34,68	24,44	6,40	5,24	21,88	33,52	Средний суглинок. Влажный, чёрно-буроватый, комковатопылеватый, рыхлый, суглинистый, переход постепенный

Таблица 2

**Величина общей порозности (%) поверхностного слоя чернозёма выщелоченного Приобского плато различной влажности в зависимости от количества воздействий (N, шт.) внешнего давления величиной 100 кПа**

N, шт.	Порозность почвы (%) при различной влажности			
	14%	18%	24%	28%
0	62,3	62,3	62,3	62,3
1	50,6	49,7	48,0	46,0
5	50,0	48,0	46,1	45,0
10	48,3	47,7	44,4	41,3

На рисунке 1 представлена аппроксимация зависимости общей порозности поверхностного слоя чернозёма выщелоченного Приобского плато от количества воздействий внешнего давления. По графикам видно, что порозность резко снижается при первых воздействиях. С возрастанием количества внешних воздействий уменьшение порозности происходит менее интенсивно. При множественном воздействии внешнего давления значение порозности асимптотически уменьшается и стремится к некоему предельному значению, зависящему от увлажнения почвы (рис. 1). Очевидно, это является следствием того, что существует некоторый предельный объём порового пространства, состоящий из тупиковых пор, и пор, заполненных водой, остающийся неизменным и меньше которого поровое пространство практически не изменяется.



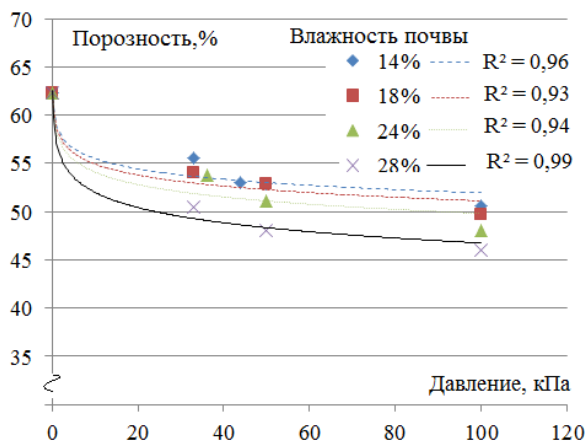
**Рис. 1. Аппроксимация зависимости порозности чернозёма выщелоченного Приобского плато от количества воздействий (N) внешнего давления 100 кПа при различной влажности почвы**

На рисунке 2 представлены аппроксимированные графики зависимости порозности поверхностного слоя (0-5 см) чернозёма выщелоченного

Приобского плато от величины внешнего давления. Влажность почвы является важнейшим фактором, определяющим степень уплотнения почвы при воздействии внешнего давления [16], как следствие, фактором, определяющим параметры порового пространства (рис. 1, 2). Графики зависимости порозности от величины внешнего давления (рис. 2) обладают нелинейным характером, при этом порозность с увеличением внешнего воздействия на почву асимптотически уменьшается. Изменения порозности зависит от её начального значения. Чем больше начальное значение порозности, тем на большую величину она уменьшается при однократном внешнем воздействии фиксированного давления. Данная особенность связана с особенностями уплотнения почвы под влиянием внешнего давления, которые в свою очередь определяются как реологическими свойствами почвы, так и изменениями, происходящими в структуре и сложении почвенных агрегатов при деформации. Сильно разрыхленные почвы с малой плотностью сложения обладают относительно крупными порами, заполненными воздухом. При воздействии внешнего давления происходят пластические деформации, приводящие к заполнению этих пор твёрдыми почвенными частицами и разрушению крупных почвенных агрегатов. В результате этого порозность почвы резко уменьшается даже под воздействием небольшого внешнего давления. Увеличение влажности почвы уменьшает прочность почвенных агрегатов, следовательно, уменьшает их способность противодействовать внешнему воздействию, что также приводит к более интенсивному уменьшению порозности при воздействии внешнего давления.

Наличие предельного значения, до которого уменьшается порозность, зависит от доли тупиковых пор в общем поровом пространстве и пор, заполненных водой.





**Рис. 2. Аппроксимация зависимости порозности поверхностного слоя чернозёма выщелоченного Приобского плато различной влажности от величины внешнего давления**

### Выводы

1. Увлажнение существенно влияет на изменение общей порозности почвы под влиянием воздействия внешнего давления. При более высоком увлажнении почвы происходит более интенсивное снижение общей порозности.
2. Порозность почвы наиболее сильно уменьшается при первых воздействиях. С возрастанием количества внешних воздействий уменьшение порозности происходит менее интенсивно.
3. Значение порозности почвы асимптотически уменьшается при множественном воздействии внешнего давления и стремится к предельному значению, обусловленному наличием тупиковых пор, и пор, заполненных водой.
4. Изменение порозности почвы под влиянием внешнего давления зависит от её начального значения.
5. Уменьшение значения порозности почвы с ростом величины внешнего давления обладает нелинейным характером и также асимптотически стремится к некоторому предельному значению, наличие и величина которого зависят от доли тупиковых пор в общем поровом пространстве и пор, заполненных водой.

### Библиографический список

1. Гайнуллин, И. А. Влияние конструктивных параметров движителей и нагрузочных режимов тракторов на почву / И. А. Гайнуллин, А. Р. Зайнуллин. – Текст: непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 2. – С. 31-36.
2. Кравченко, В. И. Некоторые вопросы прогнозирования уплотнения почв машинами / В. И. Кравченко. – Текст: непосредственный //

Влияние сельскохозяйственной техники на почву: труды Почвенного института имени В.В. Докучаева. – Москва, 1981. – С. 10-13.

3. Бондарев, А. Г. Проблема уплотнения почв сельскохозяйственной техникой и пути ее решения / А. Г. Бондарев. – Текст: непосредственный // *Почвоведение*. – 1990. – № 5. – С. 31-37.

4. Бондарев, А. Г. Переуплотнение почв сельскохозяйственной техникой: прогноз явления и процессы разуплотнения почвы / А. Г. Бондарев, И. В. Кузнецова, П. М. Сапожников. – Текст: непосредственный // *Почвоведение*. – 1990. – № 4. – С. 58-64.

5. Качинский, Н. А. Физика почвы. Ч. 1. / Н. А. Качинский. – Москва: Высшая школа, 1965. – 321 с. – Текст: непосредственный.

6. Кузнецова, И. В. Изменение дифференциальной пористости и водно-физических свойств почвы при уплотнении / И. В. Кузнецова. – Текст: непосредственный // *Плодородие почв и его изменение при уплотнении и разуплотнении: научные труды Почвенного института имени В.В. Докучаева*. – Москва, 1984. – С. 18-25.

7. Захарова, Е. Б. Влияние уплотняющего действия движителей тракторов на формирование урожая ячменя при разных способах основной обработки почвы / Е. Б. Захарова, С. В. Щитов, А. А. Немыкин. – Текст: непосредственный // *Достижения науки и техники АПК*. – 2012. – № 5. – С. 50-52.

8. Белов, Г. Д. Уплотнение почвы тракторами и урожай / Г. Д. Белов, А. П. Подолько. – Текст: непосредственный // *Земледелие*. – 1977. – № 9. – С. 46-47.

9. Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. – Москва: Наука, 1987. – С. 206-208. – Текст: непосредственный.

10. Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – Москва: Агропромиздат, 1986. – 416 с. – Текст: непосредственный.

11. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: дата введения 2016-04-01. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 19 с. – Текст: непосредственный.

12. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений: дата введения 1989-27-09. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 6 с. – Текст: непосредственный.

13. Неркин, С. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / С. В. Неркин, А. В. Судалов. – Москва: Агропромиздат, 1988; Москва: Наука, 1987. – С. 206-208. – Текст: непосредственный.

14. Долгов, С. И. О критериях оптимального сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, И. В. Кузнецова, С. А. Модина. – Текст: непосредственный // Проблемы обработки почвы: доклады Международного совещания (13-15 июня 1968 г., г. Варна). – София, 1970. – С. 131-142.

15. Кузнецова, И. В. Об оптимальной плотности почв / И. В. Кузнецова. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1990. – № 5. – С. 43-54.

16. Кузнецова, И. В. Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия / И. В. Кузнецова, В. Ф. Уткаева, А. Г. Бондарев. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С. 152-162.

### References

1. Gaynullin I.A., Zaynullin A.R. Vliyanie konstruktivnykh parametrov dvizhiteley i nagruzochnykh rezhimov traktorov na pochvu // Fundamentalnye issledovaniya. – 2017. – No. 2. – S. 31-36.

2. Kravchenko, V.I. Nekotorye voprosy prognozirovaniya uplotneniya pochv mashinami // Tr. Pochvennogo in-ta im. V.V. Dokuchaeva. Vliyanie selskokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu. – Moskva, 1981. – S. 10-13.

3. Bondarev A.G. Problema uplotneniya pochv selskokhozyaystvennoy tekhnikoy i puti ee resheniya // Pochvovedenie. – 1990. – No. 5. – S. 31-37.

4. Bondarev A.G., Kuznetsova I.V., Sapozhnikov P.M. Pereuplotnenie pochv selskokhozyaystvennoy tekhnikoy: prognoz yavleniya i protsessy razuplotneniya pochvy // Pochvovedenie. – 1990. – No. 4. – S. 58-64.

5. Kachinskiy N.A. Fizika pochvy. – Ch. 1. – Moskva: Vysshaya shkola, 1965. – 321 s.

6. Kuznetsova I.V. Izmenenie differentsialnoy poristosti i vodno-fizicheskikh svoystv pochvy pri uplotnenii // Plodorodie pochv i ego izmenenie pri uplotnenii i razuplotnenii. Nauch. tr. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva. – Moskva, 1984. – S. 18-25.

7. Zakharova E.B., Shchitov S.V., Nemykin A.A. Vliyanie uplotnyayushchego deystviya dvizhiteley traktorov na formirovanie urozhaya yachmenya pri raznykh sposobakh osnovnoy obrabotki pochvy // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2012. – No. 5. – S. 50-52.

8. Belov, G.D. Podolko A.P. Uplotnenie pochvy traktorami i urozhay // Zemledelie. – 1977. – No. 9. – S. 46-47.

9. Pereuplotnenie pakhotnykh pochv: prichiny, sledstviya, puti umensheniya. – Moskva: Nauka, 1987. – S. 206-208.

10. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. – Moskva: Agropromizdat, 1986. – 416 s.

11. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik: GOST 5180-2015.– Vved. 2016-04-01.– M.: Standartinform, 2016.–19 s.

12. Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimalnoy gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustoychivogo zavyadaniya rasteniy: GOST 28268-89. – Vved. 1989-27-09. – Moskva: Standartinform, 2006. – 6 s.

13. Nerkin C.B., Sudalov A.B. Optimizatsiya agrofizicheskikh svoystv chernozemov. – Moskva: Agropromizdat, 1988. – M.: Nauka, 1987. – S. 206-208.

14. Dolgov S.I., Kuznetsova I.V., Modina S.A. O kriteriyakh optimalnogo slozheniya pakhotnogo sloya pochvy // Problemy obrabotki pochvy. Dokl. mezhdunar. soveshchaniya 13-15 iyunya 1968, Varna. – Sofiya, 1970. – S. 131-142.

15. Kuznetsova I.V. Ob optimalnoy plotnosti pochv // Pochvovedenie. – 1990. – No. 5. – S. 43-54.

16. Kuznetsova I.V., Uткаева V.F., Bondarev A.G. Otsenka izmeneniya fizicheskikh svoystv pakhotnykh dernovo-podzolistykh suglinistykh pochv nechernozemnoy zony Rossii v zavisimosti ot kharaktera antropogennogo vozdeystviya // Pochvovedenie. – 2009. – No. 2. – S. 152-162.

