

## References

1. Volume and norms of testing of electrical equipment. The edition of Alekseev B. A., F. L. Kogan, L. G. Mamikonians. - 6th ed. with changes and additions – M.: Publishing House of the SC ENAS, 2004. - 256 p.
2. On damages of power transformers with voltage of 110-500 kV in operation / B.V.Vanin [etc.] // Power stations. - 2001. - № 9. - Pp. 53-58.
3. RD 153-34.3-46.304-00. Regulation on the expert system of monitoring and evaluation of the state and operating conditions of power transformers, shunt reactors, measuring current and voltage transformers. – M.: SPO ORGRES. - 2000.
4. Rybakov L. M.. Condition assessment of power transformers of 110 kV on the basis of their diagnosis, according to long-term operation / L. M. Rybakov, V.V. Belov, N. L. Makarova, S. A. Ovchukova, N. T. Kirillov, A. O. Savateeva // proceedings of the International Academy of Agrarian Education. – SPb., 2018. No.39. - Pp. 31-37

## Information about the authors

1. **Rybakov Leonid Maksimovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Technical Diagnostics, Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia). (e-mail): [diagnoz@marsu.ru](mailto:diagnoz@marsu.ru), mob. tel: 8-953-015-64-12;
2. **Belov Valery Vasilyevich**, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production; Chuvash State Agricultural Academy. 428000, Cheboksary, 29, K. Marx Str., email: [belovdtn@gmail.com](mailto:belovdtn@gmail.com), mob. tel: 8-953-015-64-12;
3. **Makarova Nadezhda Leonidovna**, Candidate of Technical Science, Associate Professor; Chair of Power Supply and Technical Diagnostics, Mari State University, Yoshkar-Ola (e-mail): [diagnoz@marsu.ru](mailto:diagnoz@marsu.ru);
4. **Savataeva Alena Olegovna**, Teacher of Department of Electrical and Technical Diagnostics of the Mari State University Yoshkar-Ola, Russia. e-mail: [diagnoz@marsu.ru](mailto:diagnoz@marsu.ru).

УДК 631.439

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛАГОПРОНИЦАЕМОСТИ МЕРЗЛЫХ ПОЧВ

Смирнов П.А., Федоров Д.Ю., Прокопьева Е.В.

Чувашская государственная сельскохозяйственная академия  
428003, Чебоксары, Российская Федерация

**Аннотация.** Исследования направлены на изучение возможности внесения жидких органических удобрений (жидкой фракции навоза, сжиженного бесподстилочного навоза) в почву разливом в зимнее время. В работе представлены результаты исследований по изучению изменения влажности почвы на площади экспериментального участка 1,6 га, разбитого на 36 контрольных точек. На 12 из них проведена зяблевая вспашка без предпашника агрегатом ДТ-75М+ПН 4-35 на глубину 24 см. На 4-х точках проведено дополнительное поверхностное выравнивание глыбистой зяби экспериментальной игольчатой бороной. Остальные 24 точки расположены на стерне, на 9-ти из них проведено лушение двукратным перекрестным проходом экспериментальной игольчатой бороны. Пробы почвы взяты с помощью специального винтового бура с глубины 0, 10, 20, 30, 40, 50, и 60 см с каждой точки. Периодичность измерения влажности – через каждые 15 – 20 дней. Влажность почвы определялась известным весовым методом. В опыте одновременно фиксировались толщина снежного покрова и глубина промерзания почвы. Неоднократное потепление до +2 – 4°С увеличивали абсолютную влажность лушеного участка стерни до 115–120 % на глубине 1–10 см, когда на не лушеном участке влажность увеличилась всего до 85–90 % на поверхности поля. В конце января температура почвы стабилизировалась на отметках ниже 0°С, и до середины марта существенных изменений влажности в рассматриваемой толще почвы не наблюдалось, за исключением незначительного увеличения влажности фронта замерзания за счет капиллярного притока влаги с нижних слоев. По полученному фактическому материалу можно сделать выводы о том, что влаги не проникает в мерзлую почву и не происходит ее накопления. Основное увеличение влажности почвы возможно только после оттаивания. Также в ходе эксперимента было выявлено, что существенной разницы в накоплении снега на лушеном и не лушеном участках не установлено. Первоначально представленная гипотеза подтверждается фотоматериалами, сделанными в зимний период 2014-15 и 2017-18 гг.

**Ключевые слова:** жидкие органические удобрения, жидкая фракция навоза, сжиженный бесподстилочный навоз, влагопроницаемость мерзлой почвы, толщина снежного покрова, глубина промерзания почвы.

С целью изучения влияния способов обработки на накопление влаги в осенне-зимне-весенний период в почве был проведен следующий эксперимент. 18–19 сентября 2003 г. на территории ЗАО «Прогресс»

Чебоксарского района Чувашской Республики был выбран ровный горизонтальный участок, расположенный на водоразделе двух притоков р. Моргаушки, с целью максимального уменьшения стоков по склону. Общая площадь поля составляла 38 га, площадь экспериментального участка – приблизительно 1,6 га. Поле использовалось преимущественно под зерновые культуры. В течение 2003 г. выращивался ячмень. Солома была убрана в стога, на участке встречалась хаотично разбросанная солома.

Экспериментальный участок представлял собой прямоугольник размером 280×80 м, на котором равномерно были расположены 36 контрольных точек. Расстояние между контрольными точками – 20±0,4 м. В течение сентября-октября были проведены запланированные работы по обработке почвы: на 12-ти контрольных точках была проведена зяблевая вспашка без предплужника агрегатом ДТ-75М+ПН 4-35 на глубину 24 см. На 4-х точках – дополнительное поверхностное выравнивание глыбистой зяби экспериментальной игольчатой бороной. Остальные 24 точки были расположены на стерне, из них на 9-ти точках было проведено лушение двукратным перекрестным проходом с помощью экспериментальной игольчатой бороны.

По данным исследователей [2, 4], выбранный участок типичен для сельхозугодий северных районов Чувашской Республики: это светло-серые лесные почвы, по механическому составу – тяжело- и среднесуглинистые. Реакция почвы – слабокислая. В среднем за вегетационный период зерновых культур выпадает 140 – 180 мм атмосферных осадков, а твердость почвы в засушливые годы нередко достигает 350 – 450 Н/см<sup>2</sup> [3, 4]. Значения некоторых физических параметров на начало измерений представлены в таблице 1.

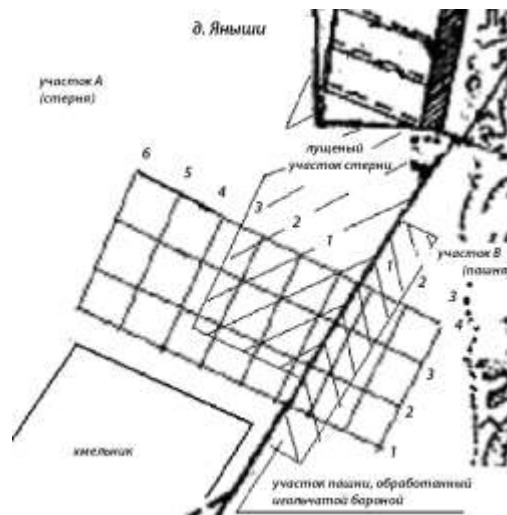


Рис. 1. Схема экспериментального участка

Таблица 1 – Средние физические параметры на экспериментальном участке

Агрофон	Объемная масса, ×10 <sup>-3</sup> , кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %	Коэффициент фильтрации, м/с	Твердость, Н/см <sup>2</sup>
Стерня	1,79	38,75	8,179×10 <sup>-9</sup>	348,75
Взлущенный участок	1,15	47,0	2,23×10 <sup>-7</sup>	337,3
Пашня	1,47	40	1,15×10 <sup>-7</sup>	226,53
Пашня, выровненная игольчатой бороной	1,33	46	0,853×10 <sup>-7</sup>	198,80

С начала ноября планировались измерения влажности через каждые 15–20 дней. При выпадении большого количества дождя и резком потеплении окружающей среды, сопровождающиеся таянием снега – внеочередные измерения с целью определения степени проникновения влаги в снежный покров и почву. Одновременно фиксировались толщина снежного покрова, глубина промерзания почвы, температура окружающей среды. Запланированное окончание измерений – начало весенне-полевых работ (апрель 2004 г).

Влажность почвы определялся известным весовым методом. Пробы почвы были взяты с помощью специального винтового бура с глубины 0, 10, 20, 30, 40, 50, и 60 см. Для измерения массы проб использовались лабораторные весы ВЛКТ-500, для сушки – электрошкаф ШЖ- 0,625/220В с отрегулированной температурой сушки в пределах t= 105 – 110°С.

За сентябрь-октябрь была определена динамика запаса влаги по участкам на глубине до 50 см. Были получены следующие результаты: на стерневом участке они снизились на 13,85 мм, на зяби – на 50,25 мм, на лущеном участке наблюдалось увеличение запасов влаги на 9,21 мм, на выровненной зяби – снижение на 31,97 мм.

Как и предполагалось, основная обработка почвы с оборотом пласта значительно снижает запасы влаги. На наш взгляд, такое снижение – результат некачественной глыбистой и неровной вспашки, вследствие чего влага интенсивно выветривалась с поверхностного слоя.

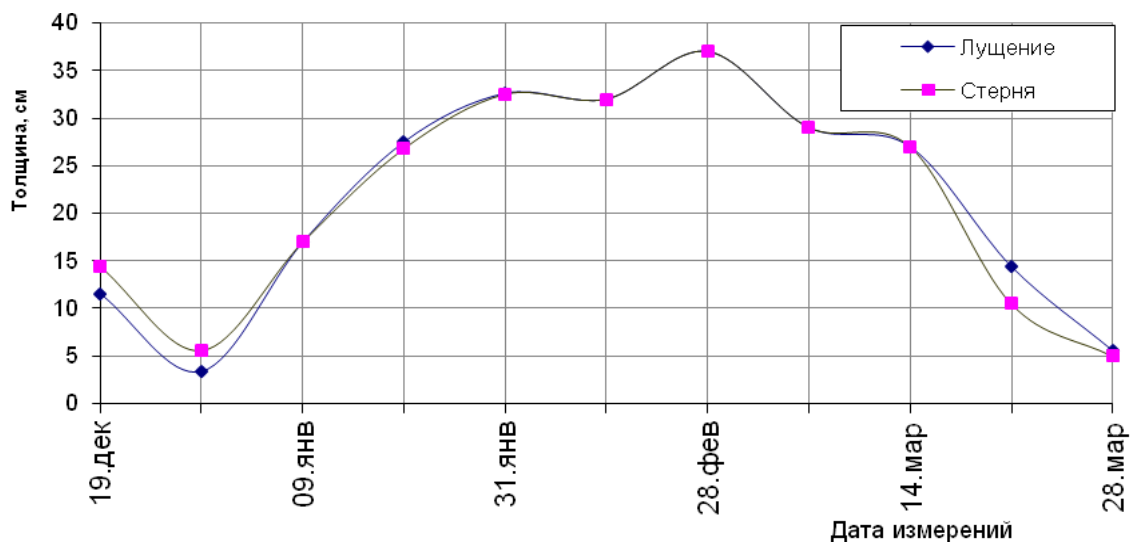


Рис.2. Графики изменения толщины снежного покрова на стерне и луговом участке

Неоднократные потепления до  $+2 - 4^{\circ}\text{C}$  (27 – 29 декабря 2003 г.; 09 – 10 января, 13 – 14 января 2004 г.) увеличили абсолютную влажность лугового участка стерни до 115 – 120 % на глубине 1–10 см, когда на не луговом участке влажность увеличилась всего до 85 – 90 % на поверхности поля. В конце января температура стабилизировалась на отметках ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и до середины марта существенных изменений влажности в рассматриваемой глубине толщи почвы не наблюдалось, за исключением незначительного увеличения влажности фронта заморозания за счет капиллярного притока влаги с нижних слоев. На зяби накопление влаги в виде шлиров льда происходит, в основном, на бороздах, образованных гребнистой вспашкой.

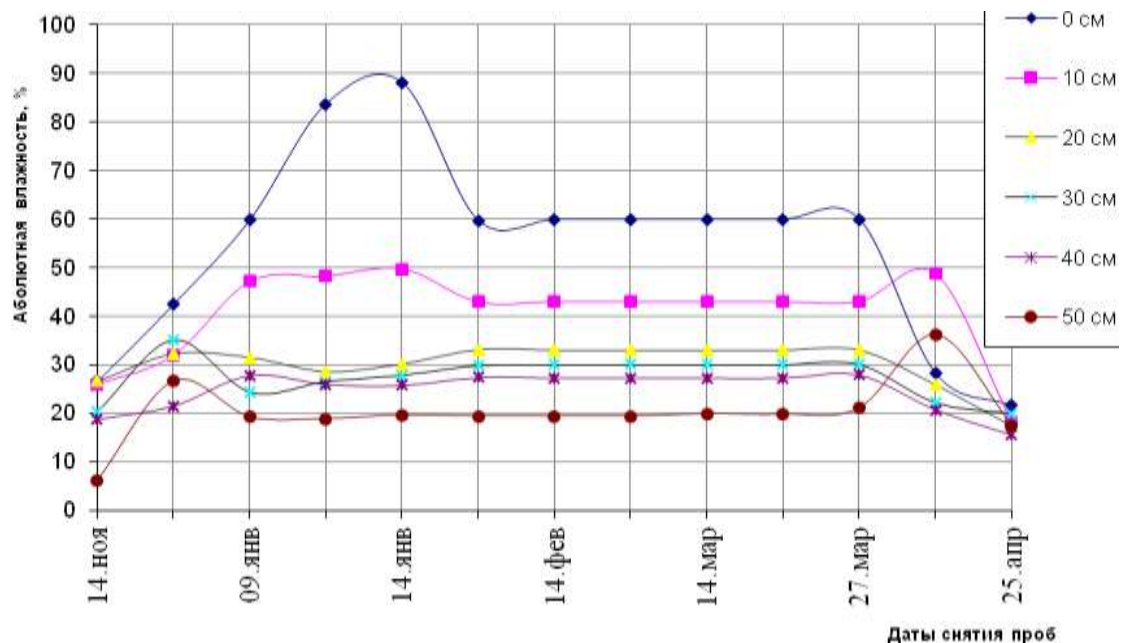


Рис. 3. Динамика влажности почвы на стерне за осенне-зимне-весенний период 2003-04г.

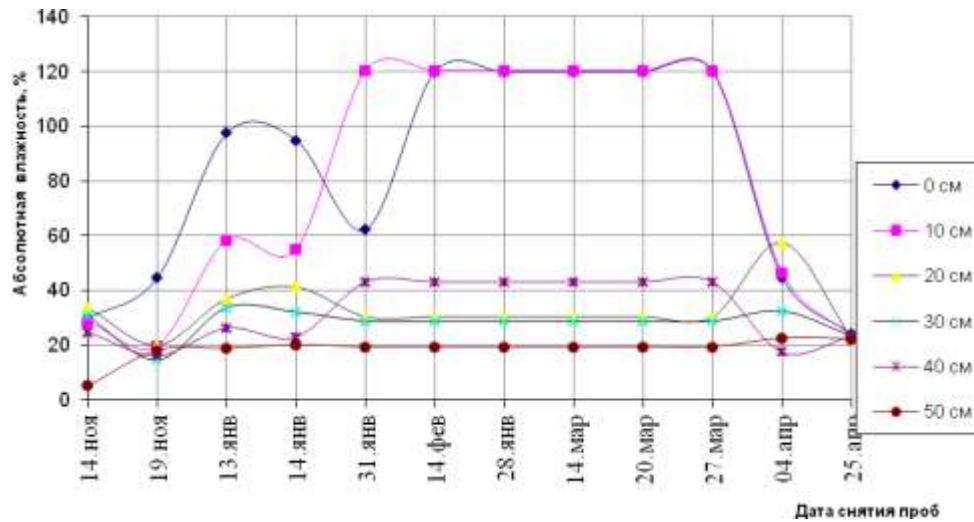


Рис. 4. Динамика влажности почвы на лущеном игольчатой бороной участке за осенне-зимне-весенний период 2003-04г.

Также в ходе эксперимента было выявлено, что существенной разницы в накоплении снега на лущеном и не лущеном участках не установлено (рис. 3 – 4).

В соответствии с данными, представленными на рис. 4, наиболее равномерное распределение влаги по глубине происходит на лущеном участке; на пашне влага аккумулирована на глубине 20 – 35 см. Наибольшие потери влаги наблюдаются на необработанном участке.

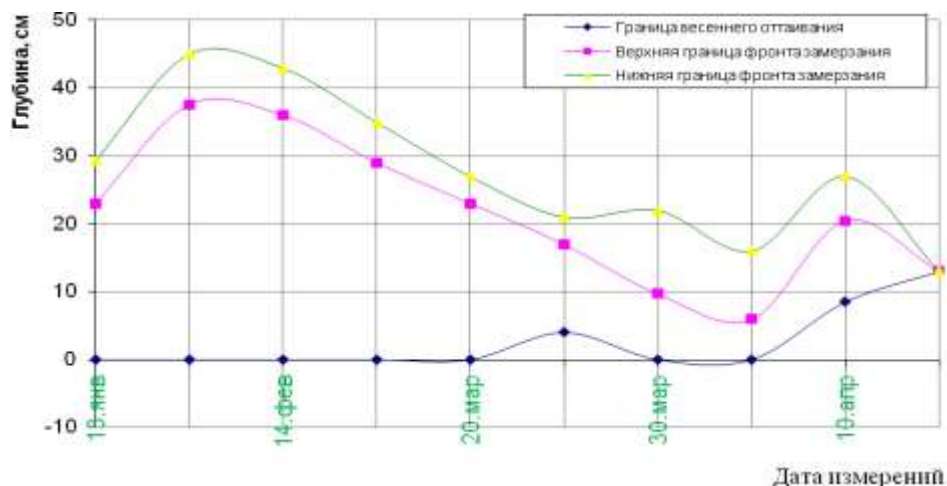


Рис. 5. Динамика фронта промерзания и оттаивания на стерневом агрофоне.

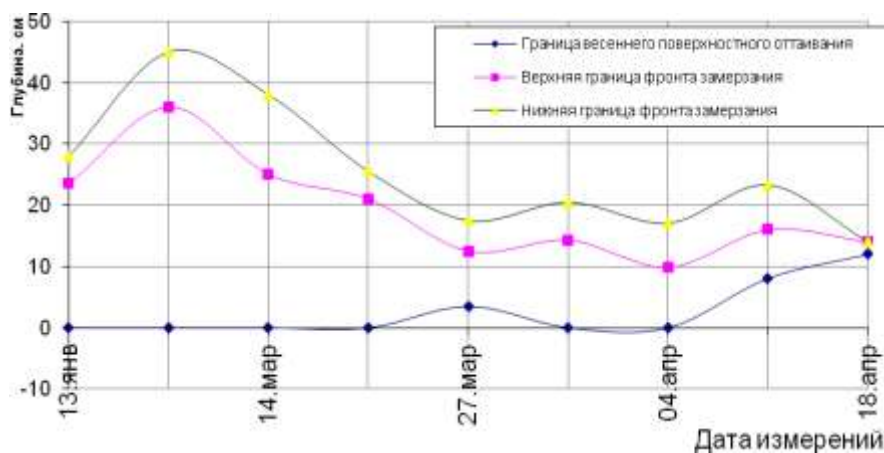


Рис. 6. Фронт промерзания и оттаивания на лущеном участке

В соответствии с данными, представленными на рис. 3 и 4, начало инфильтрации воды в мерзлых почвах возможно начиная с 27 – 30 апреля независимо от способа осенней обработки или ее отсутствия. Именно в этот момент времени происходит (рис. 5 и 6) хаотичное изменение влажности почвы по всем изучаемым уровням начиная с 27 апреля. Это показывает, что, во-первых, в рассматриваемых точках почва оттаивает не одновременно; во-вторых, уже отмечалось, что инфильтрационная способность почв зависит от степени её цементации, которая выражается в запасе холода на момент впитывания; в-третьих, многие авторы работ, посвященных данной проблеме, объясняют инфильтрацию наличием ходов землеройных животных и остатков древесной растительности [1, 5].

Следует отметить, что ко всем физико-механическим факторам разупрочнения почвы необходимо добавить наличие хаотично расположенных микротрещин на поверхности почвы, образованных в связи с термодинамическими процессами при замерзании почвы. В самый холодный зимний период некоторые микротрещины переходят в разряд макротрещин, расположенных по вертикали, глубина распространения которых достигает фронта промерзания почвы. Микротрещины, как правило, не распространяются до глубины промерзания, что подтверждает визуальный осмотр. Однако их наличие на мерзлой почве показывает, что при механическом скалывании, например, гидравлического вибрационного рабочего органа тяжелого экскаватора скалывание комков почвы происходит хаотично именно по направлению таких трещин на поверхности разрушаемого объекта.

Однако в начальный период замерзания почвы (декабрь) сеть микротрещин на поверхности почвы еще не развита, и влага, образованная на поверхности почвы в результате зимних оттепелей до  $+2 - 3^{\circ} \text{C}$  или дождей, практически не проникает вглубь почвы. Весьма возможно, что при этом происходит заполнение этих трещин водой и повторное замерзание, то есть образование, таким образом, монолита почвы.

Ежегодные исследования по изучению накопления влаги в осенний, зимний и весенний период с целью фиксации количества запасов влаги в почве и его влияния на будущий урожай были продолжены. При обнаружении дефицита влаги для получения запланированного урожая необходимо пополнять его за счет ранневесеннего полива или с помощью прокладки подпочвенной системы капельного полива.

Гипотеза о минимальном проникновении талой воды в мерзлую почву в течение указанного периода подтверждается снимками участка, расположенного в пойме р. Моргаушка, которые были сделаны в течение зимы 2013 – 2014 и 2017 – 2018 гг. При бурении скважин строительным буравчиком было установлено, что в 2013 – 2014 гг. толщина мерзлой почвы составляла от 0,15 до 0,19 м (рис. 7, 9, 11, 13). При этом наблюдалось весьма ограниченное проникновение воды в мерзлую почву. Вся вода сначала скопилась на неровностях почвы (рис. 7) – при их переполнении началось образование ручейков (рис. 9). Далее по балкам сформировались уже настоящие реки глубиной до 0,2 м, стекающие в р. Моргаушка (рис. 11).

Природные условия начала зимы 2017-2018 гг. оказались совершенно иными (рис. 8, 10, 12). Почвенный разрез на глубине 2,0 м, проведенный 30.12.2017 г., показал, что в почве отсутствует мерзлота и вся влага проникает на глубину до 0,24 м. В среднем на этой глубине отмечается повышенная абсолютная влажность, достигающая до 28,5 %, ниже – всего до 24,1 %. В сентябре на пахотном горизонте влажность составляла 22,9 %.

Массовое проникновение талой воды в мерзлую почву по норам землеройных животных подтверждает факт наличия на подтопленных участках лисьих следов и присутствие сов. Они охотились на мышей и кротов, вынужденных покинуть свои жилища в поисках сухих участков (рис. 13).



Рис. 7. Общий вид оттепели на лугу вдоль р. Моргаушка 21.12.2014 год.





Рис. 8. Общий вид оттепели на лугу вдоль р. Моргаушка 27.12.17 - 03.01.2018 гг.



Рис. 9. Образование ручья накопившейся воды с луга вдоль р. Моргаушка, 21.12.2014 год.



Рис. 10. Отсутствие ручья с луга в р. Моргаушка, 27.12.17 - 03.01.2018 гг.



Рис. 11. Стеkanie накопившейся воды по сухой балке с луга в р. Моргаушка, 21.12.2014 год.



Рис. 12. Отсутствие стока по сухой балке с луга в р. Моргаушка, 27.12.17 - 03.01.2018 гг.

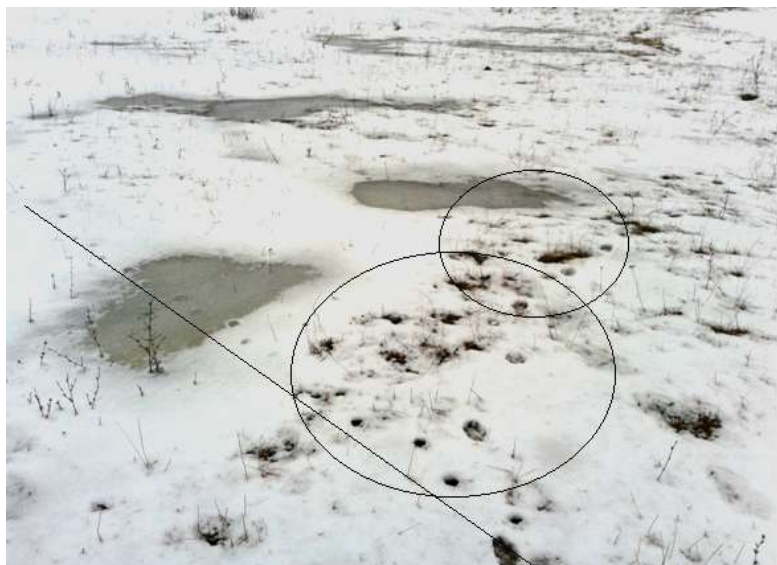


Рис. 13. Фрагмент поверхности луга с лужицами воды, 21.12.2014 г.: кружочками показаны участки охоты птиц на мышей; линией – следы лисы.

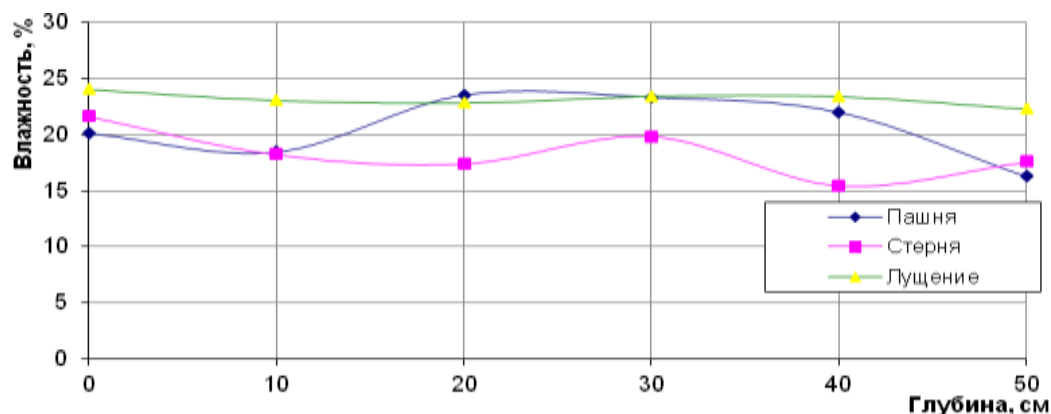


Рис. 14. Распределение влаги на различных агрофонах перед началом весенне-полевых работ

Распределение влаги в начале весенне-полевых работ на экспериментальных участках представлено в виде графика (рис. 14).

#### Выводы.

1. Осеннее лущение стерни способствует стабилизации содержания влаги по глубине в весенний предпосевной период. За счет выветривания на пашне на глубине до 15 см наблюдается резкое снижение влажности и, вместе с тем, уменьшение запасов влаги. Необработанная стерня, на наш взгляд, теряет еще больше влаги за счет ее интенсивного капиллярного поступления на поверхность почвы.

2. Эффективного накопления снега в зимний период на участке с оставленной стерней не установлено. Однако в весенний период на стерне вокруг стеблей наблюдается интенсивный сублимационный переход снега из твердого состояния в газообразное, что, очевидно, увеличивает непроизводительные потери влаги.

3. Согласно диаграммам распределения влаги в осенний период наибольшее ее накопление наблюдается на взлущенной стерне и выровненной лущильником зяби. Таким образом, лущение или дискование можно рекомендовать в качестве наилучшей технологии минимальной обработки почвы как способа накопления влаги для южных районов с коротким и малоснежным зимним периодом.

4. Гипотеза о минимальном проникновении талой воды в мерзлую почву в течение указанного периода подтверждается снимками участков, сделанных в течение зимы 2013-2014 и 2017-2018 гг.

#### Литература

1. Глушко, К. А. Развитие концептуальных подходов к изучению процесса инфильтрации талых вод сквозь мерзлую почву / К. А. Глушко, Н. Н. Водчиц, С. С. Стельмашук // Вестник Брестского Государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С.18-21.
2. Отчет о НИР Почвы колхоза «Прогресс» Чебоксарского района ЧР и рекомендации по их использованию и улучшению / М. В. Строганов и [др.]. – Чебоксары, 1985. – С. 56-63.
3. Смирнов, П.А. Исследования почвенной влаги и обеспечение стабильной урожайности сельскохозяйственных культур на склоновых землях КФХ / П. А. Смирнов // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: ЦРНС, 2014. – С. 45-50.
4. Смирнов, П. А. Некоторые результаты исследования влажности почвы в осенне-зимне-весенний период / П. А. Смирнов, И. И. Максимов / Труды ЧГСХА. – Т. XX. – Чебоксары, 2005. – С.252-255.
5. Чалая, О. В. Водопроницаемость мерзлых черноземов обыкновенных и светло-каштановых почв нижнего Поволжья под влиянием карбоната калия / О. В. Чалая // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 2. – С.105-109.

#### Сведения об авторах

1. **Смирнов Петр Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно – технологических машин и комплексов, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; тел. 89603101909; e-mail: smirnov\_p\_a@mail.ru.

2. **Федоров Дмитрий Юрьевич**, магистрант инженерного факультета, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; тел. 89196613455; e-mail: ddiimmaann35@mail.ru.

3. **Прокорьева Елена Владимировна**, магистрант инженерного факультета, Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; тел. 89279930981, e-mail: elena-prokory@mail.ru.



## THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF WATER PERMEABILITY OF FROZEN SOILS

**P.A. Smirnov, D.Yu. Fedorov, E.V. Prokopieva**

*Chuvash State Agricultural Academ  
428000, Cheboksary, Russian Federation*

**Abstract:** *The studies are aimed at studying the possibility of introducing liquid organic fertilizers (liquid manure fraction, liquefied non-pigmented manure) onto the soil in a spill in winter. The paper presents the results of changes in soil moisture on the area of the experimental plot of 1.6 hectares, broken down into 36 control points. At 12 control points, autumn plowing without a skimmer was carried out by the DT-75M + PN 4-35 aggregate to a depth of 24 cm. An additional surface leveling of the cloddy ploughland by an experimental needle harrow was carried out at 4 points. The remaining 24 points are located on the stubble, of which 9 points were flaked by a double cross-pass of the experimental needle harrow. The soil samples were taken with a special screw drill from the depths of 0, 10, 20, 30, 40, 50, and 60 cm from each point. Periodicity of moisture measurement - every 15 ... 20 days. The soil moisture was determined by the known weight method. In the experiment, the thickness of the snow cover and the depth of freezing of the soil were simultaneously recorded. Repeated warming up to + 2 ... 4 ° C increased the absolute humidity of the chopped stubble section to 115..120 % at a depth of 1 ... 10 cm when the humidity in the untouched area increased only to 85 ... 90% on the field surface. At the end of January, the soil temperature stabilized at elevations below 0 ° C and until mid-March, no significant changes in humidity were observed in the soil stratum in question, with the exception of a slight increase in the moisture content of the freezing front due to capillary inflow of moisture from the lower layers. According to the obtained factual material, it can be summarized that penetration and accumulation of moisture in frozen soil does not occur, the main increase in soil moisture is possible only after thawing. Also, contrary to the opinion of the effective accumulation of snow stubble, there is no significant difference in the accumulation of snow on the chopped and non-cleared plots on the experimental site. Originally presented hypothesis is confirmed by photographic materials, taken in the winter period 2014-15 and 2017-18.*

**Key words:** *liquid organic fertilizers, liquid fraction of manure, liquefied non-pigmented manure, moisture permeability of frozen soil, thickness of snow cover, depth of soil freezing.*

### References

1. Glushko K. A. Development of conceptual approaches to the study of the process of melt water infiltration through frozen soil/K. A. Glushko, N. N. Vodchits, S. S. Stelmashuk // Bulletin of Brest State Technical University, 2013. No. 2. - Pp. 18-21
2. Report on the R & D of the collective farm "Progress" in Cheboksary district of the CR and recommendations for their use and improvement. M. V. Stroganov, L. M. Voikin, N. K. Kondratyev, L. P. Nikitin. - Cheboksary, 1985-Pp. 56-63
3. Smirnov P. A. Some results of study of soil moisture in the autumn-winter-spring period/ A. P. Smirnov, I. I. Maksimov, Proceedings of CSAA, Vol XX.- Cheboksary, 2005.- Pp. 252-255
4. Smirnov P. A. Studies of soil moisture and ensuring STA-modules crop yields on sloping lands of PFH/ P. A. Smirnov// Agricultural science and agribusiness at the turn of the century: proceedings of the VIII International scientific-practical conference / ed. by S. S. Chernov. – Novosibirsk: Publishing house CRNS, 2014. - Pp. 45-50
5. Chalaya O. V. Water Permeability of frozen chernozems of ordinary and light-chestnut soils of the lower Volga region under the influence of potassium carbonate/ O. V. Chalaya/ Forestry journal, 2014. No. 2. – Pp. 105-109

### Information about the authors

1. **Smirnov Pyotr Alekseyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technology Machines and Complexes, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, the Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marks Str.; e-mail: smirnov\_p\_a@mail.ru, Phone: 89603101909;
2. **Fedorov Dmitry Yurievich**, Master of Engineering Faculty, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, the Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marks Str.; e-mail: ddiimmaann35@mail.ru, Phone: 89196613455;
3. **Prokopyeva Elena Vladimirovna**, Master of Engineering Faculty, Chuvash State Agricultural Academy, 428003, the Chuvash Republic, Cheboksary, 29, K. Marks Str.; e-mail: elena-prokopy@mail.ru, Phone: 89279930981.