Информация об авторах:

Бородычев Виктор Владимирович академик РАН, директор Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>. E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Лытов Михаил Николаевич, ведущий научный сотрудник Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), кандидат сельскохозяйственных наук,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825> LytovMN@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-33

**TO THE QUESTION ABOUT SAPROPELS AND THEIR INFLUENCE ON WATER
PHYSICAL PROPERTIES IN MIXTURES WITH SAND DURING CONSTRUCTION
AND OPERATION OF ENGINEERING AND RECLAMATION SYSTEMS**

V.S. Bocharnikov¹, A.A. Borovikov²

¹*Volgograd State Agrarian University, Volgograd*

²*Belarusian State Agricultural Academy, Gorki*

Received 18.09.2021

Submitted 20.11.2021

Summary

The article deals with freshwater silts – sapropels, their water-physical properties, and the influence of sapropel content on water-physical properties in sand-sapropel mixtures. The properties of mixtures with mineral soils are compared. Analysis of the compression dependencies of various sapropels showed that their maximum molecular moisture capacity is not lower than that of Montmorillonite clays, which indicates the presence of a large number of particles capable of molecular binding water in large quantities. This made it possible to conclude that it is possible, when calculating the suffusion stability, to increase the size of solid particles by the size of physically bound water films.

Abstract

Introduction. The use of local materials in the construction of hydraulic structures of reclamation systems during their construction and reconstruction instead of expensive imported montmorillonite clays will significantly reduce their cost. **Object.** The objects of research are sapropels, sands and mixtures based on them. **Materials and methods.** Standard methods were used to determine the water-physical properties of sapropels, sands and their mixtures. **Results and conclusions.** Analysis of compression dependencies and calculations of the phase composition of sapropels showed that their maximum molecular moisture capacity is not lower than that of montmorillonite clays, which indicates the presence of molecularly active particles capable of binding water in large quantities. Highly active particles of the organic component of sapropels bind and retain much more water in the soil structure than mineral particles of similar size. This makes it possible to recommend the use of sapropels instead of imported montmorillonite clays, as well as to increase the particle size (reduce the pore size) by the size of the molecular water film when testing mixtures for filtration strength.

Key words: *sapropel, sand-sapropel mixture, water-physical properties.*

Citation. Bocharnikov V.S., Borovikov A.A. To the question about sapropels and their influence on water physical properties in mixtures with sand during construction and operation of engineering and reclamation systems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4(64). 324-334 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-33.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 626.8:624.131.37(476)

**К ВОПРОСУ О САПРОПЕЛЯХ И ИХ ВЛИЯНИИ
НА ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В СМЕСЯХ С ПЕСКОМ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ИНЖЕНЕРНО-МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ****В. С. Бочарников¹**, доктор технических наук, профессор**А. А. Боровиков²**, старший преподаватель¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград²Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки

Дата поступления в редакцию 18.09.2021

Дата принятия к печати 20.11.2021

Аннотация. В статье рассматриваются пресноводные илы – сапропели, их водно-физические свойства, влияние содержания сапропеля на водно-физические свойства в песчано-сапропелевых смесях. Проведено сравнение свойств смесей с минеральными грунтами. Анализ компрессионных зависимостей различных сапропелей показал, что максимальная молекулярная влагоемкость у них не ниже, чем у монтмориллонитовых глин, что указывает на наличие большого количества частиц способных молекулярно связывать воду в большом количестве. Это позволило сделать вывод о возможности при расчетах на суффозионную устойчивость увеличить размер твердых частиц на размер пленок физически связанной воды.

Актуальность. Использование местных материалов в конструкции гидротехнических сооружений мелиоративных систем при их строительстве и реконструкции вместо дорогостоящих привозных монтмориллонитовых глин позволит значительно снизить их стоимость. **Объект.** Объектом исследования являются сапропели, пески и смеси на их основе. **Материалы и методы.** Применялись стандартные методы определения водно-физических свойств сапропелей, песков и их смесей. **Результаты и выводы.** Анализ компрессионных зависимостей и расчеты фазового состава сапропелей показал, что максимальная молекулярная влагоемкость у них не ниже, чем у монтмориллонитовых глин, что говорит о присутствии молекулярно активных частиц, способных связывать воду в большом количестве. Высокоактивные частицы органической составляющей сапропелей связывают и удерживают в структуре грунта значительно большее количество воды, чем минеральные частицы аналогичных размеров. Это позволяет рекомендовать применение сапропелей вместо привозных монтмориллонитовых глин, а также увеличить размер частиц (снизить размер пор) на величину пленки молекулярной воды при проверке смесей на фильтрационную прочность.

Ключевые слова: сапропели, песчано-сапропелевые смеси, водно-физические свойства сапропелей.

Цитирование. Бочарников В. С., Боровиков А. А. К вопросу о сапропелях и их влиянии на водно-физические свойства в смесях с песком при строительстве и эксплуатации инженерно-мелиоративных систем. *Известия НВ АУК*. 2021. 4 (64). 324-334. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-33.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сапропель – пресноводный ил, формирующийся в пресноводных водоемах. Его формирование тесно связано с возникновением и геологическим развитием водоема. Изменение режимобразующих факторов существенно влияет на процесс осадконакопления, но, в конечном счете, отложение сапропеля ведет к обмелению водоема, т.е. к постоянному изменению его батиметрических характеристик. С точки зрения геохронологии, это очень быстрый процесс. Небольшие водоемы заполняются

осадками и превращаются в болота в течение каких-нибудь 100-200 лет. В силу длительного по времени процесса формирования сапропелей они характеризуются пестрым разнообразием водно-физических свойств [2, 5, 7].

Сапропели являются полидисперсными системами, сложенными органическими, минеральными и органоминеральными образованиями [10, 13]. При этом, по мнению Сергеева, основой глинистой фракции является каолинит, однако содержание глинистых минералов не превышает 6 % по массе [6].

Содержание органических и органоминеральных соединений может достигать до 90 % [12], и они определяют водно-физические свойства сапропелей вследствие высокой активности по отношению к минеральной составляющей. Ввиду различия в свойствах органической и минеральной составляющих их следует рассматривать отдельно. Так, органическое вещество биогенных грунтов характеризуется плотностью не превышающей 1,25-1,80 г/см³. В соответствии с рекомендациями плотность органического вещества равна 1,51 г/см³ при выполнении расчетов.

В ранее выполненных расчетах фазового состава сапропеля по известной плотности твердых частиц и степени зольности нами была получена величина плотности частиц органической составляющей 1,55 г/см³, которая отличается от рекомендуемой на величину около 2,5 %.

Строительство и эксплуатация инженерно-мелиоративных систем, включающих подвод поливной воды с использованием как открытой, так и закрытой оросительной сети, направлены на обеспечение бесперебойной работы дождевальной техники [3, 11], капельных и внутрипочвенных трубопроводов [4] и т.д. на основе сохранения и воспроизводства почвенного плодородия [9], экологической устойчивости агроландшафтов [1].

Использование сапропеля при строительстве и эксплуатации таких систем представляет практический интерес [8].

Материалы и методы. С целью изучения водно-физических свойств были отобраны сапропели с различных объектов на территории Республики Беларусь. К основным водно-физическим свойствам сапропелей, представляющих для нас интерес, относятся: гранулометрический состав, плотность твердых частиц, твердость скелета, плотность, влажность, степень зольности, пористость. Плотность частиц грунта определялась пикнометрическим методом; плотность грунта – методом режущего кольца; плотность скелета – расчетным методом; влажность – высушиванием до постоянной массы; гранулометрический состав: песков – ситовым с промывкой водой и ареометрическим; сапропелей и смесей – ареометрическим методом; степень зольности – прокаливанием до постоянной массы; верхнего предела пластичности – методом балансирного конуса; нижнего предела пластичности – раскатыванием. В таблице 1 приведены показатели водно-физических свойств исследованных грунтов.

Песчано-сапропелевые смеси приготавливались путем смешивания песков 1 и 2 и суспензии сапропеля 2 в различном соотношении компонентов. Кумулятивные кривые гранулометрического состава песков и сапропеля 2 приведены на рисунке 1, а песчано-сапропелевых смесей – на рисунках 2 и 3.

Показатели физических свойств исследованных смесей следующие. Плотность твердых частиц смесей при различном содержании сапропеля в смеси изменяется в небольшом диапазоне: для смесей №1–№3 от 2,60 до 2,62 г/см³, для смесей №4–№6 – от 2,62 до 2,64 г/см³. В значительно больших пределах изменяется их плотность: от 1,36 до 1,94 г/см³ для смесей №1–№3 и от 1,37 до 1,95 г/см³ для смесей № 4–№6.

Таблица 1 – Показатели водно-физических свойств исследованных грунтов

Table 1 – Indicators of water-physical properties of the studied soils

Образец / Sample	Плот- ность ρ , г/см ³ / Density, g / cm ³	Влажность W , в долях единицы / Humidity W , in fractions of a unit	Плотность скелета ρ_d , г/см ³ / Skeleton density, g / cm ³	Степень зольно- сти / Ash degree D_{ash} , %	Плот- ность частиц ρ_s , г/см ³ Particle density , g / cm ³	Пори- стость / Porosity n	Коэффи- циент не- одно- родности / Coefficient of hetero- geneity
Сапропель / Sapropel 1	1,617	0,59	1,017	90	2,54	0,600	–
Сапропель / Sapropel 2	1,438	0,93	0,745	85	2,43	0,693	–
Сапропель / Sapropel 3	1,413	1,03	0,696	88	2,46	0,717	–
Сапропель / Sapropel 4	1,144	3,4	0,260	76,6	2,27	0,885	–
Сапропель / Sapropel 5	1,163	2,8	0,306	66,4	2,134	0,857	–
Сапропель / Sapropel 6	1,112	3,9	0,227	55,4	1,98	0,885	–
Сапропель / Sapropel 7	1,092	4,46	0,200	42,4	1,86	0,892	–
Песок / Sand 1	–	–	1,68	–	2,63	0,361	2,6
Песок / Sand 2	–	–	1,72	–	2,65	0,351	52

При этом с увеличением содержания сапропеля в смеси плотность ее уменьшается, а пористость растет от 0,26 при 5 % до 0,477 при 15 %. Значительно изменяется и коэффициент неоднородности: для смесей №1-№3 при изменении концентрации с 5 до 15 % он возрастает с 4,4 до 26,5; для смесей №4-№6 – с 69 до 97 при изменении концентрации с 5 до 15 %).

Рисунок 1 – Кумулятивные кривые гранулометрического состава исследованных грунтов

Figure 1 – Cumulative curves of the granulometric composition of the studied soils

Рисунок 2 – Кумулятивные кривые гранулометрического состава исследованных грунтов

Figure 2 – Cumulative curves of the granulometric composition of the studied soils

Рисунок 3 – Кумулятивные кривые гранулометрического состава исследованных грунтов

Figure 3 – Cumulative curves of the granulometric composition of the studied soils

Результаты и обсуждение. В ходе изучения водно-физических свойств смесей песка и сапропеля производилось определение числа пластичности для различных концентраций сапропеля в смеси. На рисунках 4 и 5 показаны зависимости, отражающие изменение влажностей на границах текучести и раскатывания и числа пластичности с ростом содержания сапропеля в смеси. Согласно данным рисунков, песчано-сапропелевые составы концентраций 5–15 % по числу пластичности можно отнести к супесчаным грунтам.

Физически связанная вода по существующей классификации (основанной на работах А. Ф. Лебедева, А. А. Роде, В. А. Приклонского, В. Д. Ломтадзе, Е. М. Сергеева и др.) подразделяется на прочносвязанную и слабосвязанную, а ее суммарное количество называют молекулярной влагоемкостью.

Гигроскопическую воду практически невозможно отжать даже при очень больших усилиях, но легко удалить, подвергнув грунт нагреванию. Объем ее, присутствующий в грунте, определяется механическим и минеральным составом и может быть от 0,2 до 30 %, а иногда и более. Слабосвязанная вода энергетически менее прочно удерживается на поверхности частиц и при росте уплотняющей нагрузки относительно легко выводится за пределы грунта.

По данным В. Д. Ломтадзе (1970), значения полной (ПВ) и максимальной молекулярной (ММВ) влагоемкостей (%) для некоторых минеральных грунтов следующие: монтмориллонит ПВ – 71, ММВ – 44; каолинит ПВ – 43, ММВ – 22; гидрослюда ПВ – 29, ММВ – 14; тонкозернистый кварцевый песок ПВ – 25, ММВ – 2.

Активные частицы глин (тонкодисперсные фракции $d < 0,005$ мм) обладают большой обменной способностью, причем наибольшая она у монтмориллонитовых, наименьшая – у гидрослюдистых глин.

В механическом составе сапропелей частицы размером менее 0,005 мм занимают 50 % и более, однако они – результат разложения растительных и животных остатков.

Рисунок 4 – Изменение числа пластичности смеси в зависимости от содержания сапропеля (сапропель 2 + песок 1)

Figure 4 – Change in the number of plasticity of the mixture depending on from the content of sapropel (sapropel 2 + sand 1)

Рисунок 5 – Изменение числа пластичности смеси в зависимости от содержания сапропеля (сапропель 2 + песок 2)

Figure 5 – Change in the number of plasticity of the mixture depending on from the content of sapropel (sapropel 2 + sand 2)

Рисунок 6 – Изменение отношения влажности сапропелей после уплотнения (W^I) к их влажности в естественном состоянии (W_0) в зависимости от уплотняющей нагрузки (σ)

Figure 6 – Change in the ratio of the moisture content of sapropels after compaction (W^I) to their moisture content in the natural state (W_0) depending on the compaction load (σ)

Высокая емкость обмена и способность связывать большое количество воды – их главная особенность. В естественных условиях влажность сапропелей в залежи значительно выше, чем у глинистых грунтов схожего механического состава.

На рисунке 6 показаны результаты лабораторных испытаний различных видов сапропелей в компрессионных приборах.

Выводы. Из рисунка 6 видно, что с ростом уплотняющей нагрузки наблюдается снижение выделяемой воды из образца и процесс практически стабилизируется при нагрузках более 0,2 МПа. Для исследованных образцов влажность после уплотнения под нагрузкой 0,5 МПа составляла от 52 до 182 %. При больших значениях нагрузки она практически не изменялась. Приведенные значения влажности сапропелей после их уплотнения можно принять в качестве максимальной молекулярной влагоемкости. Это свидетельствует о том, что во всех исследованных видах сапропелей максимальная молекулярная влагоемкость не ниже, чем у монтмориллонитовых глин, что свидетельствует о наличии в их составе большого количества активных частиц, способных связывать значительное количество воды. Специфические свойства сапропелей можно объяснить высокой активностью частиц органической составляющей и способностью их связывать и удерживать в структуре грунта значительно большее количество воды, чем минеральными частицами аналогичных размеров.

Проведя расчет фазового состава для сапропеля 3 при естественной влажности, выяснили, что твердая фаза занимает в плотном состоянии 0,283, а вода – 0,717 от объема грунта. Если предположить, что грунт при естественной влажности состоит из шарообразных частиц, покрытых пленками воды, то толщина водных пленок составит 0,42-0,46 от диаметра твердых частиц при любом диаметре этих частиц в реальном диапазоне их изменения по данным гранулометрического анализа.

После удаления воды при уплотнении, когда практически можно принять, что процесс оттока воды прекратился и в грунте осталась только прочносвязанная вода, ее количество для данного вида сапропеля составляет 0,237 от первоначального объема грунта. В данном случае в результате компрессионного удаления рыхлосвязанной воды толщина водных пленок снизилась до 0,15-0,20 от диаметра частиц.

С уменьшением диаметра частиц толщина водных пленок уменьшается и соответственно возрастает прочность связи пленочной воды с твердыми частицами. Естественно, что приведенные расчетные значения получены из предположения, что грунт состоит из частиц одинакового диаметра, однако соотношение толщины водных пленок к диаметру твердых частиц остается практически постоянным. С увеличением диаметра частиц толщина водных пленок увеличивается и, соответственно, уменьшается прочность связи воды с твердыми частицами.

Это позволило сделать заключение о возможности включения прочносвязанной воды при расчетах (суффозионной устойчивости) в размер (диаметр) твердых частиц, так как толщина пленок этой категории воды практически не изменяется при стабильных (неизменяющихся) внешних условиях.

Библиографический список

1. Дуброва Ю. Н., Лейко Д. М., Боровиков А. А. Использование природных ландшафтов в сельскохозяйственном производстве в условиях изменения климата // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2020. № 2 (78). С. 112-117.
2. Исследование процесса сушки органического сапропеля / С. Н. Кокошин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 129-132.
3. Исследования гидравлических характеристик дождевальной машины кругового действия / В. С. Бочарников [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 319-327.

4. Оптимизация основных параметров трубчатых оросительных систем / А. С. Овчинников [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2 (50). С. 303-309.
5. Применение сапропеля как органического удобрения в условиях правобережья Саратовской области / И. Ф. Медведев [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 23-26.
6. Ялтанец И. М., Дементьев В. А., Казаков В. А. Структура комплексной механизации гидромеханизированного предприятия при эксплуатации месторождений торфа и сапропеля и производстве торфо-сапропелевых смесей // Гидротехническое строительство. 2021. № 7. С. 14-21.
7. Ялтанец И. М., Дементьев В. А. Перспективность развития сапропелевой индустрии России и её технологическая основа // Гидротехническое строительство. 2020. № 10. С. 39-45.
8. Biodegradation studies of sapropel-based composite materials / V. Obuka [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 660 (1). 012073.
9. Bocharnikova O. V., Denisova M. A., Bocharnikov V. S. Technology of preparation of natural waters for irrigation // 2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 579 (1). 012033.
10. Krivonos O. I., Terekhova E. N., Belskaya O. B. Catalytic hydroprocessing of organic matter of sapropels. The effects of sapropel nature on the yield and composition of products // Catalysis Today. 2021. V. 378. P. 126-132.
11. Optimum control model of soil water regime under irrigation / A. S. Ovchinnikov, V. V. Borodychev, M. N. Lytov, V. S. Bocharnikov, S. D. Fomin, O. V. Bocharnikova, E. S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. 2018. № 24 (5). P. 909-913.
12. Utenkova T., Kremcheev E., Korotkova O. Existing methods of dehydration of sapropel // E3S Web of Conferences 2020. V. 174. 01004.
13. Vincevica-Gaile Z., Stankevica K. Impact of micro- and macroelement content on potential use of freshwater sediments (gyttja) derived from lakes of eastern Latvia // Environmental Geochemistry and Health. 2018. V. 40 (5). P. 1725-1738.

Conclusion. Figure 3 shows that with an increase in the sealing load, a decrease in the released water from the sample is observed, and the process practically stabilizes at loads of more than 0,2 MPa. For the investigated samples, the moisture content after compaction under a load of 0,5 MPa ranged from 52 to 182%. At large values of the load, it practically did not change. The given values of the moisture content of sapropels after their compaction can be taken as the maximum molecular moisture capacity. This indicates that in all studied types of sapropels, the maximum molecular moisture capacity is not lower than that of montmorillonite clays, which indicates the presence in their composition of a large number of active particles capable of binding a significant amount of water. The specific properties of sapropels can be explained by the high activity of organic particles and their ability to bind and retain a much larger amount of water in the soil structure than mineral particles of similar size.

After calculating the phase composition for sapropel 3 at natural humidity, the solid phase in the dense state occupies 0,283, and water – 0,717 of the volume of the soil. If we assume that the soil at natural moisture content consists of spherical particles covered with water films, then the thickness of the water films will be 0,42-0,46 of the diameter of solid particles for any diameter of these particles in the real range of their variation according to the granulometric data analysis.

After removing water during compaction, when it is practically possible to assume that the process of water outflow has stopped, and only strongly bound water remains in the soil, its amount for this type of sapropel is 0,237 of the original volume of the soil. In this case, as a result of compression removal of loosely bound water, the thickness of the water films decreased to 0,15-0,20 of the particle diameter.

With a decrease in the particle diameter, the thickness of the water films decreases and, accordingly, the bond strength of the film water with solid particles increases. Naturally, the given calculated values were obtained from the assumption that the soil consists of parti-

cles of the same diameter, but the ratio of the thickness of the water films to the diameter of solid particles remains practically constant. With an increase in the diameter of the particles, the thickness of the water films increases and, accordingly, the strength of the bond between water and solid particles decreases.

This made it possible to conclude that it is possible to include strongly bound water in calculations (suffusion stability) in the size (diameter) of solid particles, since the thickness of films of this category of water practically does not change at stable (unchanging) external conditions.

References

1. Dubrova Yu. N., Leiko D. M., Borovikov A. A. The use of natural landscapes in agricultural production in the context of climate change // Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. 2020. No. 2 (78). P. 112-117.
2. Research of the drying process of organic sapropel / S. N. Kokoshin [et al.] // News of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 6 (86). P. 129-132.
3. Research of the hydraulic characteristics of the circular sprinkler / V. S. Bocharnikov [et al.] // Bulletin of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. 2020. No. 2 (58). P. 319-327.
4. Optimization of the main parameters of tubular irrigation systems / A. S. Ovchinnikov [et al.] // Bulletin of the Nizhnevolzhsk agro-university complex: Science and higher professional education. 2018. No. 2 (50). P. 303-309.
5. The use of sapropel as an organic fertilizer in the conditions of the right bank of the Saratov region / I. F. Medvedev [et al.] // Agrarian scientific journal. 2019. No. 11. P. 23-26.
6. Yaltanets I. M., Dementyev V. A., Kazakov V. A. The structure of the complex mechanization of a hydromechanized enterprise during the operation of peat and sapropel deposits and the production of peat-sapropel mixtures // Hydrotechnical construction. 2021. No. 7. P. 14-21.
7. Yaltanets I. M., Dementyev V. A. Prospects for the development of the sapropel industry in Russia and its technological basis // Hydraulic engineering. 2020. No. 10. P. 39-45.
8. Biodegradation studies of sapropel-based composite materials / V. Obuka [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 660 (1). 012073.
9. Bocharnikova O. V., Denisova M. A., Bocharnikov V. S. Technology of preparation of natural waters for irrigation // 2020 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 579 (1). 012033.
10. Krivonos O. I., Terekhova E. N., Belskaya O. B. Catalytic hydroprocessing of organic matter of sapropels. The effects of sapropel nature on the yield and composition of products // Catalysis Today. 2021. V. 378. P. 126-132.
11. Optimum control model of soil water regime under irrigation / A. S. Ovchinnikov, V. V. Borodychev, M. N. Lytov, V. S. Bocharnikov, S. D. Fomin, O. V. Bocharnikova, E. S. Vorontsova // Bulgarian journal of agricultural Science. 2018. № 24 (5). P. 909-913.
12. Utenkova T., Kremcheev E., Korotkova O. Existing methods of dehydration of sapropel // E3S Web of Conferences 2020. V. 174. 01004.
13. Vincevica-Gaile Z., Stankevica K. Impact of micro- and macroelement content on potential use of freshwater sediments (gyttja) derived from lakes of eastern Latvia // Environmental Geochemistry and Health. 2018. V. 40 (5). P. 1725-1738.

Authors Information

Bocharnikov Viktor Sergeevich, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (40002, Russia, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26) Doctor of Technical Sciences, Professor, tel. 8 (8442)41-17-84, e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru.

Borovikov Aleksey Aleksandrovich, Senior Lecturer of the Department of Hydraulic Structures and Water Supply, Belarusian State Agricultural Academy (213407, Republic of Belarus, Gorki, Michurin street, 5), tel. (+375 44) 764-60-19, e-mail: boral73@mail.ru.

Информация об авторе

Бочарников Виктор Сергеевич, профессор кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (40002, Россия, Волгоград, проспект Университетский, 26), доктор технических наук, профессор, тел. 8 (8442) 41-17-84, e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru.

Боровиков Алексей Александрович, старший преподаватель кафедры «Гидротехнические сооружения и водоснабжение» УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (213407, Республика Беларусь, г. Горки, улица Мичурина, 5), тел. (+375 44)764-60-19, e-mail: boral73@mail.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-34

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESSING OF SLOPE LAND TREATMENT WITH ANTI-EROSION WEAPON

S. A. Vasiliev^{1,2}, A. M. Lopotkin², A. A. Vasiliev²

¹Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary

²Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino

Received 14.09.2021

Submitted 21.11.2021

The research was carried out under a grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists, the project "Development and research of intelligent technologies and mechatronic systems for accurate ground scanning of the surface of sloping lands" No. MD-1198.2020.8, agreement No. 075-15-2020-228

Summary

In the scientific article, a mathematical model of the technological process of processing slope lands with an anti-erosion tool is developed, taking into account the differentiated impact of the working body on the soil according to information about the exposure of the treated area on a complex slope.

Abstract

Introduction. In the scientific article, a mathematical model of the technological process of processing slope lands with an anti-erosion tool is developed. The occurrence of critical conditions can occur with any traditional tillage on difficult slopes, when technological furrows are formed during the movement of a machine and tractor unit, where heavy rainfall is combined and concentrated, starting from the watershed line. In this case, on difficult slopes with a non-constant slope, it is necessary to determine the maximum permissible deviations of the direction of the main tillage relative to the isohypsum of the slope. **Object.** The purpose of the scientific work is to develop a mathematical model of the technological process of processing slope lands with an anti-erosion tool, taking into account the differentiated impact of the working part on the soil according to information about the exposure of the treated area on a complex slope. **Materials and methods.** When considering the movement of a tractor on a complex slope, the relationship of three angles is revealed: the angular parameter of the deviation of the longitudinal axis of the machine-tractor unit from the isohypsum of the slope; the longitudinal angular parameter of the tool slope and the transverse angular parameter of the tool slope along the isohypsum. Having considered the kinematics of the movement of the working part of the anti-erosion tool, we established the dependence of the angle of deviation of the vector of the absolute speed of the working part on the speed of the longitudinal movement of the machine. **Results and conclusion.** According to the developed dependencies, a mathematical model of the processing of complex slope lands with an active harrow as part of a machine-tractor unit was obtained, in which, on the one hand, the parameters of a complex slope were taken into account, and on the other, the parameters of the active harrow were taken into account. On the basis of a mathematical model of the processing of complex slope lands with an active harrow, particular cases of the location of the slope relative to the direction of movement of the machine-tractor unit are schematically presented, which establish various modes of its operation.

Key words: mathematical model, slope lands, anti-erosion tool, machine-tractor unit, active harrow.