

skogo gosudarstvennogo selskokhozyaystvennogo instituta. – 2011. – № 4. – S. 136-140.

9. Dementev D.Yu., Dementev Yu.N. Rezultaty proizvodstvennykh ispytaniy lap-soshnikov sternevykh seyalok s konusnymi otrazhatel'nyami // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo selskokhozyaystvennogo instituta. – 2004. – № 1. – S. 146-148.

10. Svirshchevskiy A.B. Stendy dlya uskorennykh ispytaniy selskokhozyaystvennykh mashin. – M.: Agropromizdat, 1969. – 125 s.

11. Kordashevskiy S.V. Ispytaniya selkhoz-tekhniki. – M.: Agropromizdat, 1979. – 184 s.

12. Tkachev V.N. Iznos i povyshenie dol-govechnosti rabochikh organov mashin. – M.: Mashinostroenie, 1971. – 223 s.

13. Tkachev V.N., Finshteyn B.Ch., Kazintsev N.V. i dr. Induktsionnaya naplavka tverdykh splavov. – M.: Mashinostroenie, 1970. – 183 s.

14. Chernoi vanov V.I., Lyalyakin V.P., Au-lov V.F. i dr. Osobennosti iznashivaniya de-taley selkhoz mashin, uprochnennykh kompozitsionnymi boridnymi pokryt'yami FenB-Fe-B // Trenie i iznos. – 2015. – T. 36. – № 2. – S. 174-180.



УДК 553.937:628.336.4

**Д.М. Быченков, В.Г. Игнатенков, Е.Л. Лаппо, В.В. Морозов**  
D.M. Bychenkov, V.G. Ignatenkov, Ye.L. Lappo, V.V. Morozov

### СПОСОБ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ САПРОПЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЛЬПОСУСТИТЕЛЕЙ

#### SAPROPEL DEHYDRATION TECHNIQUE BY PULP THICKENER

**Ключевые слова:** сапропель, пульпосусти-тель, пульпа, удобрения, влажность, обезвожи-вание, давление, ламинарное течение, плот-ность, диаметр.

В настоящее время пресная вода становится важнейшим ресурсом, поэтому охрана и рацио-нальное использование озер, борьба с их преж-девременным заилением и зарастанием являются главной экологической задачей. В связи этим при восстановлении заиленных водоемов важной про-блемой является утилизация сапропеля. В то же время во многих земледельческих регионах стра-ны складывается отрицательный баланс гумуса как основного показателя плодородия почвы. Большое влияние на повышение плодородия почв оказывают органические удобрения, объемы ис-пользования которых в последние годы суще-ственно уменьшились, поэтому необходимо ис-кать новые нетрадиционные источники органиче-ских удобрений, одним из которых является са-пропель. Экспериментальный и практический ма-териал подтверждает целесообразность исполь-зования сапропеля в виде органического удобре-ния. Однако одной из основных причин ограни-ченного применения сапропеля в народном хозяй-стве является его высокая влажность, получаемая в процессе добычи, достигающая 97%, в то же время наиболее дорогостоящим процессом об-работки сырого сапропеля является его обезво-живание. Одним из возможных путей повышения эффективности добычи сапропеля является сгу-щение смеси, либо на всасывающей, либо на нагнетательной линии пульповода. Увеличение плотности смеси значительно снижает удельные затраты на извлечение сапропеля и уменьшает износ гидротранспортного оборудования. Наибо-

лее перспективным направлением повышения плотности добываемого сапропеля является его обезвоживание на горизонтальной части нагнета-тельной линии пульповода на участке с устано-вившимся течением за счет использования пуль-посустителей. Используя особенность движения пульпы по горизонтальной трубе при установив-шемся (ламинарном) течении, разработаны раз-личные конструкции пульпосустителей, обеспечи-вающие обезвоживание добытого сапропеля. Для определения расстояния от пункта добычи до ме-ста установки пульпосустиателя, на котором наблюдается установившееся течение сапропеля, проверим выполнение неравенства, чтобы опре-делить, при каком значении длины шланга будет происходить ламинарно-пластическое течение са-пропеля. Далее найдем длину шланга или трубы, при которой реализуется ламинарно-пластичный режим течения. Добыча сапропеля с применени-ем вакуумной машины КО-529 позволит забирать сапропель и очищать труднодоступные водоемы, а применение пульпосустиателя в линии забора сапропеля из залежи – снизить его влажность.

**Keywords:** sapropel, pulp thickener, pulp, ferti-lizers, moisture content, dehydration, pressure, laminar stream, density, diameter.

Nowadays fresh water becomes a very important resource, and the protection and rational use of lakes as well as control of premature silting and veg-etation growing is an important task for ecologists. Sapropel utilization is an important task in view of silted water body restoration. At the same time, many agricultural regions of the country have a neg-ative humus balance as the key soil fertility index. Organic fertilizers have a great influence on soil ferti-

ity. As the application of such fertilizers has considerably decreased, new and unconventional sources of organic fertilizers should be found; sapropel is one of them. Experiments and practice show sapropel to be efficient as an organic fertilizer. However, the main reason of sapropel limited use is its high moisture content of 97% after excavation and expensive process of raw sapropel dehydration. A possible way to raise sapropel excavation efficiency is mix thickening either at the suction or at the injection ends of the pulp-line. Sapropel-water-mix density considerably diminishes per-unit-costs to excavate sapropel and decreases wear of the hydrotransport equipment. Sapropel dehydration in the horizontal sector of the pulp injection line due to pulp thickener

installations is the most promising technique. To de-water the pulp mix, several models of pulp thickeners that use the pattern of pulp movement inside a horizontal pipe have been designed. To determine the distance from the excavation place to pulp thickener in consideration to steady pulp motion, a mathematical equation is to be applied to show at what hose length steady streamline pulp motion is possible. Further on, the optimum length of the hose or pipe that allows a steady streamline motion is calculated. Sapropel extraction by means of the KO-529 vacuum unit makes it possible to excavate sapropel and clean up difficult-to-access water bodies. The use of pulp thickeners in the technological line decreases sapropel moisture content.

**Быченков Дмитрий Михайлович**, магистрант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: dimon\_mega@mail.ru.

**Игнатенков Валерий Геннадьевич**, к.т.н., доцент, зав. каф. «Эксплуатация и ремонт МТП», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: well\_79@mail.ru.

**Лаппо Евгений Леонидович**, ст. преп., Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: evgenij\_lappo@yantex.ru.

**Морозов Владимир Васильевич**, д.т.н., проф., Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: priemnaja@vgsa.ru.

**Bychenkov Dmitriy Mikhaylovich**, master's degree student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: dimon\_mega@mail.ru.

**Ignatenkov Valeriy Gennadyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Machinery and Tractor Fleet Operation and Repair, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: well\_79@mail.ru.

**Lappo Yevgeniy Leonidovich**, Asst. Prof., Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: evgenij\_lappo@yantex.ru.

**Morozov Vladimir Vasilyevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: priemnaja@vgsa.ru.

### Введение

Пресная вода в XXI в. становится важнейшим стратегическим ресурсом, определяющим возможности развития многих государств и регионов, поэтому охрана и рациональное использование озер, как источников пресной воды, борьба с их преждевременным заилением и зарастанием – главная экологическая задача. В связи этим при восстановлении заиленных водоемов важной проблемой является утилизация сапропеля.

В то же время во многих земледельческих регионах страны складывается отрицательный баланс гумуса, как основной показатель плодородия почвы.

Длительное использование пахотных земель без внесения достаточных доз органических удобрений сопровождается их истощением и выносом питательных веществ из почвы в виде урожая. Естественное восполнение почвенных ресурсов намного меньше размеров выноса их с урожаем.

По обобщенным отечественным и зарубежным данным уменьшение содержания гумуса в почве на 10% снижает урожайность зерновых культур в среднем на 5-6 ц с 1 га.

Большое влияние на повышение плодородия почв оказывают органические удобрения, объемы использования которых в

последние годы существенно уменьшились, поэтому необходимо искать новые нетрадиционные источники органических удобрений, одним из которых является сапропель.

### Объекты

Сапропель (греч. *sapros* – гнилой и *pelos* – ил, грязь) – донные отложения пресноводных водоемов, образующиеся в результате биохимических, микробиологических и физико-механических процессов из остатков населяющих озеро животных и растительных организмов, а также приносимых водой и ветром органических и минеральных примесей.

Сапропель является природным ресурсом сырья для производства не только удобрений, но и кормовых добавок, которые вводят в рацион как источник минеральных и биологически активных веществ. Наличие последних обуславливает активизацию физиологических процессов в организме животного, способствует более полному усвоению питательных веществ.

При скармливании сапропелевых кормовых добавок совершенствуется деятельность важнейших систем и органов животного. В составе сапропелей содержатся вещества, возбуждающие сердечную мышцу и улучшающие работу сердца. Скармливание сапропеля стимулирует кроветворение. Для увеличения выработки

костным мозгом эритроцитов и гемоглобина требуются такие компоненты, содержащиеся в сапропеле, как железо, медь, кобальт, витамин В<sub>12</sub>.

Сапропели содержат набор необходимых животному минеральных макро- и микроэлементов: кальций, магний, железо, фосфор, калий, натрий. До 20% Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> и более 50% СаО входят в состав подвижных форм, легко усвояемых организмом животного. Из микроэлементов определяются Мп, Со, V, Си, Мо, Ni, I. Их количество в сапропелях достаточно сбалансировано, что особенно благоприятно для животных.

### Методы

Экспериментальный и практический материал подтверждает целесообразность использования сапропеля в виде органического удобрения, позволяет оценить сапропель как высокоэффективное кормовое, лечебное и профилактическое средство.

Однако одной из основных причин ограниченного применения сапропеля в народном хозяйстве является его высокая влажность, получаемая в процессе добычи, достигающая 97%, в то же время наиболее дорогостоящим процессом обработки сырого сапропеля является его обезвоживание.

Одним из возможных путей повышения эффективности добычи сапропеля является сгущение смеси либо на всасывающей, либо на нагнетательной линии пульповода.

Увеличение плотности смеси значительно снижает удельные затраты на извлечение сапропеля и уменьшает износ гидротранспортного оборудования.

Наиболее перспективным направлением повышения плотности добываемого сапропеля является его обезвоживание на горизонтальной части нагнетательной линии пульповода на участке с установившимся

течением за счет использования пульпосгустителей.

Пульпосгустители – это аппараты для повышения консистенции (сгущения) пульпы путем уменьшения содержания в ней воды.

На рисунке 1 изображена схема движения жидкого сапропеля по горизонтальной трубе при установившемся (ламинарном) течении.

В этом случае слой 2 (рис. 1), состоящий из смеси сапропеля и воды, движется внутри трубы как плотный цилиндр, окруженный слоем воды. Причем центр слоя 2 не совпадает с осью трубы и смещен по отношению к нему, под действием сил гравитации, на величину  $\Delta h$  (рис. 1), т.е. в верхней части трубы слой воды оказывается больше, чем в ее нижней части.

Используя эту особенность движения пульпы по горизонтальной трубе при установившемся (ламинарном) течении, разработаны различные конструкции пульпосгустителей, обеспечивающие обезвоживание добытого сапропеля, в частности, известны конструкции трубчатых и батарейных пульпосгустителей (рис. 2).

Трубчатый пульпосгуститель (рис. 2а) устанавливается в напорном пульповоде и состоит из горизонтальной трубы 1, в верхней части которой сделаны отверстия 3 и кожух 2 с водоотводным патрубком 4.

Вода 5 из протекающей по трубе 1 пульпы отжимается через отверстия 3, принимается в трубчатый кожух 2 и отводится через водоотводный патрубок 4 под влиянием имеющегося давления.

Батарейный пульпосгуститель (рис. 2б) состоит из нескольких патрубков 6, устанавливаемых вертикально на напорном пульповоде. Патрубки суживаются в верхней части в узкие горловины, подключенные к водоотводному трубопроводу. Расход отделяемой воды 5 регулируется вентилями 7, расположенными в горловинах патрубков 6.

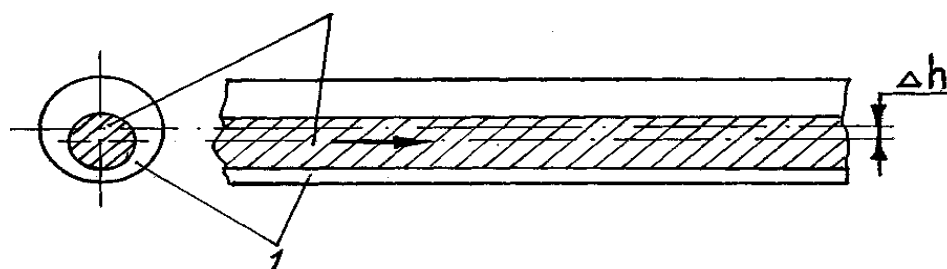


Рис. 1. Схема движения пульпы в трубе (при ламинарном течении):  
1 – вода; 2 – пульпа

2

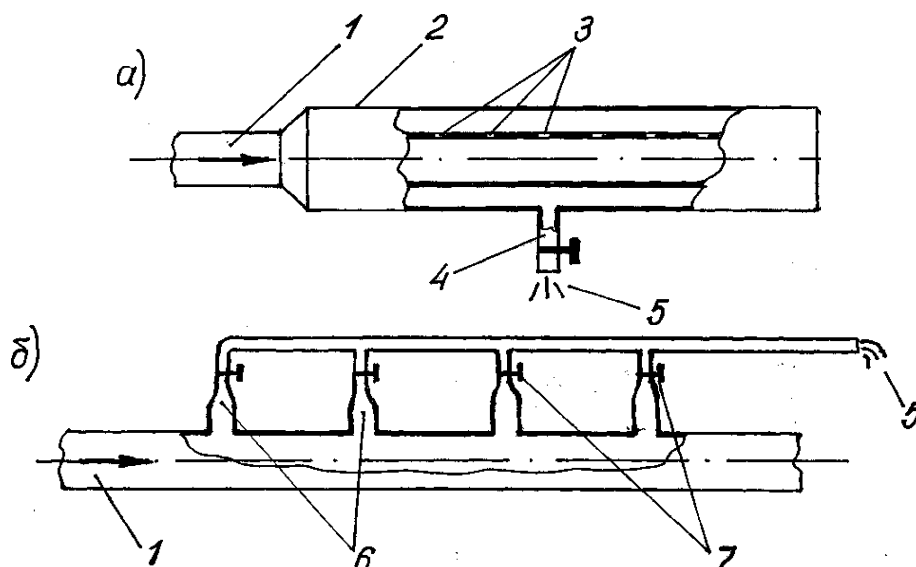


Рис. 2. Пульпогустители: а – трубчатый; б – батарейный

Для определения расстояния от пункта добычи до места установки пульпогустителя, на котором наблюдается установившееся течение сапропеля, напомним, что ламинарно-пластическое течение сапропеля, как вязко-пластичной жидкости в шлангах и трубах, реализуется при условии выполнения неравенства:

$$2\tau_0 < GR \leq (\tau_0 + \tau_p), \quad (1)$$

где  $\tau_0$  – начальное напряжение сдвига сапропеля, Па;

$$G = \frac{\Delta P}{l} \text{ — градиент убыли давления}$$

вдоль шланга или трубы, Па/м;

$P$  – давление, Па;

$l$  – длина шланга, м;

$R$  – радиус шланга или трубы, м;

$\tau_p$  – напряжение сдвига, разрушающее ламинарно-пластическое течение (Па), которые определяется по математической зависимости:

$$\tau_p = \frac{64\eta^2}{g\chi^2\rho R^2}, \quad (2)$$

где  $g = 9,8$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность сапропеля, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – вязкость сапропеля, Па·с;

$\chi = 0,4$  – постоянная Кармана.

Из сказанного следует, что ламинарно-пластическое течение будет осуществляться в шлангах и трубах длиной

$$l \geq \Delta P R / 2(\tau_0 + \tau_p). \quad (3)$$

Для забора сапропеля из залежи труднодоступных водоемов и доставки к месту использования возможно применять вакуумную машину КО-529.



Рис. 3. Вакуумная машина КО-529

При подъеме сапропеля со дна озера вакуумной машиной типа КО-529 перепад давления на концах шланга или трубы вычисляется по формуле:

$$\Delta P = P_{\text{вак}} - (\rho - \rho_b) gh_b - \rho gh_0, \quad (4)$$

где  $P_{\text{вак}}$  – вакуумное давление, Па;

$\rho$  – плотность сапропеля, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_b$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$h_b$  – глубина водоема, м;

$h_0$  – высота от поверхности воды до всасывающего патрубка, м.

Приняв согласно технической характеристике вакуумной машины типа КО-529, следующие известные данные:

$P_{\text{вак}} = 8 \cdot 10^4$  Па;  $\rho = 1050$  кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_b = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;  $h_b = 4$  м;  $h_0 = 1$  м, получим согласно математическому выражению  $\Delta P = 67,75 \cdot 10^3$  Па.

Далее, приняв для сапропеля  $\tau_0 = 4$  Па,  $\eta = 15,15 \cdot 10^3$  Па·с, а радиус заборного рукава  $R = 5 \cdot 10^{-2}$  м, найдем длину шланга или трубы, при которой реализуется ламинарно-пластичный режим течения,  $l \geq 423$  м.

Если уменьшить радиус шланга или трубы и перепад давления в 2 раза, т.е. использовать трубопровод диаметром 50 мм, то длина трубопровода, в котором реализуется ламинарно-пластичный режим течения сапропеля, составит  $l \geq 105$  м.

Добыча сапропеля с применением вакуумной машины КО-529 позволит забирать сапропель и очищать труднодоступные водоемы, а применение пульпогустителя в линии забора сапропеля из залежи – снизить его влажность.

#### Библиографический список

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Булавко А.Г. Водные ресурсы и человек. – Минск: Наука и техника, 1976. – С. 13-26.
3. Васильев В.А., Филиппова Н. В. Справочник по органическим удобрениям. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 254 с.
4. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1973. – 195 с.
5. Вимба Б.Я., Лапса Е.Я., Краулер Я.С. Химический состав сапропелей Латвийской ССР и их классификация / Научн. тр. Латвийской СХА. – Елгава, 1970. – Вып. 24. – Ч. 2. – С. 157-168.
6. Галенчик И.З. Добыча сапропелей в зависимости от их использования // Сапропели и их использование. – Минск: Изд-во АН БССР, 1958. – С. 92-99.
7. ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения влаги. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.
8. ГОСТ 26712-85. Удобрения органические. Общие требования к методам анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 26 с.
9. Долгов С.И. Исследование почвенной влаги и ее доступности для растений. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1997. – С. 21-26.
10. Жуков Ф.А. Сапропель – чудо Нечерноземья // Химия и жизнь. – 1981. – № 6. – С. 8.
11. Игнатьева В.М. Освоение болот и улучшение песчаных почв Мещерской низменности. – М.: Сельхозгиз, 1955. – С. 25-36.

#### References

1. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskiy Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy. – M.: Nauka, 1976. – 280 s.
2. Bulavko A.G. Vodnye resursy i chelovek. – Minsk: Nauka i tekhnika, 1976. – S. 13-26.
3. Vasilev V.A., Filippova N.V. Spravochnik po organicheskim udobreniyam. – M.: Rosselkhozizdat, 1984. – 254 s.
4. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimentalnogo issledovaniya i obrabotki opytnykh dannykh. – M.: Kolos, 1973. – 195 s.
5. Vimba B.Ya., Lapsa E.Ya., Krauler Ya.S. Khimicheskiy sostav sapropely Latviyskoy SSR i ikh klassifikatsiya / Nauchn. tr. Latviyskoy SKhA. – Vyp. 24. – Ch. 2. – Elgava, 1970. – S. 157-168.
6. Galenchik I.Z. Dobycha sapropely v zavisimosti ot ikh ispolzovaniya // Sapropeli i ikh ispolzovanie. – Minsk: Izd. AN BSSR, 1958. – S. 92-99.
7. GOST 11305-83. Torf. Metody opredeleniya vlagi. – M.: Izd. standartov, 1984. – 24 s.
8. GOST 26712-85. Udobreniya organicheskie. Obshchie trebovaniya k metodam analiza. – M.: Izd. standartov, 1986. – 26 s.
9. Dolgov S.I. Issledovanie pochvennoy vlagi i ee dostupnosti dlya rasteniy. – M.-L.: Izd. AN SSSR, 1997. – S. 21-26.
10. Zhukov F.A. Sapropel – chudo Nechozemya // Khimiya i zhizn. – 1981. – № 6. – S. 8.
11. Ignateva V.M. Osvoenie bolot i uluchshenie peschanykh pochv Meshcherskoy nizmennosti. – M.: Selkhozgiz, 1955. – S. 25-36.

