

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.414.3:631.432.31:631.316.22:631.82

**КАПИЛЛЯРНО-СОРБЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПОЧВЕ  
ПОСЛЕ ЧИЗЕЛОВАНИЯ И ВНЕСЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ  
УДОБРЕНИЙ-МЕЛИОРАНТОВ****CAPILLARY-SORPTION EFFECTS IN SOIL  
AFTER CHIESELLING AND INTRODUCTION OF NON-TRADITIONAL  
FERTILIZERS (MELIORANTS)****В.И. Пындак<sup>1</sup>**, доктор технических наук, профессор**А.Е. Новиков<sup>2,3</sup>**, доктор технических наук**В.Н. Штепа<sup>4</sup>**, кандидат технических наук, доцент**А.С. Межевова<sup>1</sup>**, аспирант**V. I. Pyndak<sup>1</sup>, A.E. Novikov<sup>2,3</sup>, V.N. Shtepa<sup>4</sup>, A.S. Mezhevova<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Волгоградский государственный аграрный университет<sup>2</sup>Всероссийский НИИ орошаемого земледелия<sup>3</sup>Волгоградский государственный технический университет<sup>4</sup>Пинский государственный университет, Республика Беларусь<sup>1</sup>Volgogradsky State Agrarian University<sup>2</sup>All-Russia Scientific Research Institute of irrigated agriculture<sup>3</sup>Volgogradsky State Technical University<sup>4</sup>Pinsky State University, Rep. of Belarus

Движение влаги в почве – это фильтрация, которая записывается в виде закона Дарси. Давление влаги в почве – это сумма капиллярно-сорбционного, гравитационного и осмотического давлений, последнее незначительно и его можно не учитывать. Гравитационное давление всегда присутствует, его вектор направлен вниз, а вектор капиллярно-сорбционного давления может быть направлен вверх, вниз или вовсе отсутствовать. На направление действия капиллярно-сорбционного давления существенное влияние оказывают исходная влажность почвы, глубокая (чизельная) обработка почвы и нетрадиционное удобрение-мелиорант – осадок сточных вод, обладающий адсорбционными свойствами и вносимый на поверхность почвы в виде мульчирующего слоя. Чизелевание почвы сопровождается формированием гребнистого дна борозды. Внутрипочвенные гребни отклоняют вектор капиллярно-сорбционного давления и способствуют обезвоживанию нетронутой почвы. После чизелевания на переувлажнённых почвах ряды ширококорядных пропашных культур располагают над гребнями. Чизелевание почвы и внесение осадка выполняют один раз в 2-3 года. Глубина пахоты 50-60 см, ширина междурядья – 70-80 см, доза внесения осадка – 20-25 т/га.

The movement of moisture in the soil is filtering, which is written in the form of Darcy's law. Water pressure in the soil is the amount of capillary-sorption, gravity and osmotic pressure, the latter is insignificant and can be ignored. The gravitational pressure is always present, its vector is directed downward, and the vector of capillary-sorption pressure can be directed up, down, or be absent altogether. At the direction of action of capillary-sorption pressure significantly affected by the initial moisture content of the soil, deep (chisel) and unconventional tillage fertilizer (meliorant) is sewage sludge, which has adsorption properties and amendments to the soil surface as a mulch layer. Chieselling of soil is accompanied by the formation of saltwater bottom of the furrow. Subsurface ridges deflect vector capillary-sorption pressure and contribute to dehydration of the soil untouched. After chieselling on waterlogged soils in wide rows of cultivated crops have on the ridges. Chieselling of soil and sediment entering are performed once in 2-3 years. The depth of plowing makes 50-60 cm, the width of row-spacing makes 70-80 cm, making sludge dose of 20-25 t/ha.

**Ключевые слова:** влагоёмкость почвы, капиллярно-сорбционное давление, осадок сточных вод, удобрение-мелиорант.

**Key words:** capillary fringe, capillary-sorption pressure, sewage sludge, manure-meliorant.

**Введение.** Иностранные учёные предсказывают катастрофические изменения в экосистемах [9], что обусловлено, в первую очередь, прогрессирующей деградацией земель сельскохозяйственного назначения. Одним из направлений в решении этой проблемы является глубокое рыхление подпахотных горизонтов и переувлажнённых почв [1, 3], а также использование нетрадиционных высокоэффективных удобрений-мелиорантов [3, 6], обеспечивающих аккумуляцию влаги из атмосферы (в засушливых условиях) и, как оказалось, регулирующих влагоёмкость почвы (при избытке влаги). Однако агрофизические процессы в переувлажнённой почве нуждаются в изучении и интерпретации.

**Материалы и методы.** Из литературных источников и наших исследований [2, 5, 7] известно, что движение влаги в порах почвы – это фильтрация. Одна из разновидностей линейного закона фильтрации (закона Дарси) записывается в виде [4]:

$$u = K_{\phi} j,$$

где  $K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $j$  – гидравлический уклон.

Из-за сложности определения параметра  $j$  предложена новая интерпретация закона фильтрации [2, 5]:

$$u = K_{\phi} \cdot K_n \cdot H,$$

где  $K_n$  – коэффициент пропорциональности в размерности  $\text{м}^{-1}$ , по нашим данным  $K_n \approx 10 \text{ м}^{-1}$ ;  $H$  – пьезометрический напор, м.

При внутрипочвенном орошении считается, что  $K_{\phi} = 0,1$ . Тогда при  $H = 0,5-0,6 \text{ м}$   $u = 0,5-0,6 \text{ м/сут.}$  – это скорость распространения влаги в почве на равнинных землях – в горизонте между увлажнителями.

Задача заключается в определении и интерпретации давления влаги на почву.

**Результаты и обсуждение.** При влагонасыщении и, в частности, при внутрипочвенном орошении в почве действует давление влаги, являющееся алгебраической суммой капиллярно-сорбционного  $P_{\kappa-c}$ , гравитационного  $P_{gp}$  и осмотического  $P_{осм}$  давлений:

$$P_t = P_{\kappa-c} + P_{gp} + P_{осм}.$$

Давление  $P_{осм}$  незначительно, и его можно не учитывать при назначении режимов орошения.

Гравитационное давление  $P_{gp}$  всегда присутствует, его вектор направлен вниз, а величина и направление действия капиллярно-сорбционного давления  $P_{\kappa-c}$  зависят от влагоёмкости почвы. В начале влагонасыщения (в начале полива) давление  $P_{\kappa-c}$  направлено вниз (рисунок 1):  $P_t = P_{\kappa-c} + P_{gp}$ . Если нижний порог влажности  $W_2 = (0,875-0,933) W_{HB}$  [2, 5], то  $P_{\kappa-c} = 0$ , а  $P_t = P_{gp}$ . При увеличении влажности ( $W_2 > W_{HB}$ ) вектор давления  $P_{\kappa-c}$  направлен вверх:  $P_t = P_{gp} - P_{\kappa-c}$ . При влажности почвы  $W_{pk}$  (разрыва капилляров) давление  $P_{\kappa-c}$  вновь исчезает (рисунок 1) и  $P_t = P_{gp}$ .

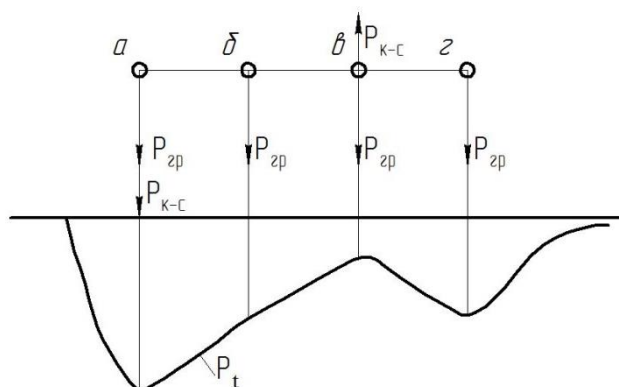


Рисунок 1– Изменение векторов давления влаги в почве

Эти метаморфозы следует учитывать при назначении режимов орошения, исключая излишнее промачивание нижних горизонтов при

$$P_t = P_{к-с} + P_{зр}.$$

При внутрипочвенном орошении напор  $H$  в голове увлажнителя варьировал в диапазоне 0,1-0,7 м. Экспериментально подтверждено, что на равнинной местности оптимальным напором является  $H = 0,5-0,63$  м, а минимальное время одного полива светло-каштановой почвы 2-3 часа.

Перед поливом средняя влажность почвы была в пределах 71,4-76,5 % НВ в слое 0,2-0,4 м. После завершения полива влажность почвы над увлажнителем достигала 112 % НВ, а на расстоянии 1,0 м от оси увлажнителя – 73,3-109,4 % НВ. Критерием начала полива должен быть оптимальный порог влажности в активном слое почвы: 75-80 % НВ.

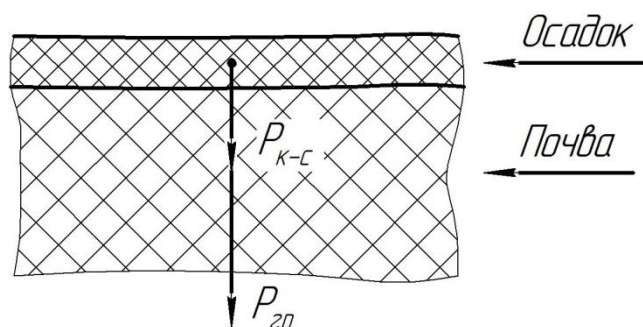


Рисунок 2 – Векторы давления влаги в почве после внесения осадка сточных вод

Осадок сточных вод – при его использовании в качестве нетрадиционного удобрения-мелиоранта [6] – рекомендуется вносить на поверхность обработанного поля – в виде мульчирующего слоя. В этом случае наиболее полно реализуются адсорбционные свойства осадка, благодаря чему сохраняется структура верхнего горизонта почвы и поддерживается определённая влажность за счёт аккумуляции из атмосферы воздуха и влаги.

Вследствие этого, капиллярно-сорбционное давление  $P_{к-с}$ , будучи направленным вниз (рисунок 2), не только противостоит испарению почвенной влаги, но и стимулирует её накопление, а также снижение плотности верхнего горизонта. Это одно из эффективных направлений в агротехнических мелиорациях земель в засушливых условиях, а также при орошении [3, 8].

В ряде регионов России и Белоруссии приходится решать проблемы осушения переувлажнённых и заболоченных земель. Для этих целей рекомендуется, в частности, глубокое рыхление почвы [1]. В этом варианте целесообразно сочетание

чизельной обработки почвы (на глубину 50-60 см) и последующее внесение на поверхность поля осадка сточных вод.

Чизелевание почвы сопровождается, как известно, формированием гребнистого дна борозды (рисунок 3 а; [3]). Очевидно, что плотность  $\rho_1$  необработанной почвы (в гребнях) больше плотности  $\rho_2$  взрыхлённой почвы:  $\rho_1 > \rho_2$ . Наряду с этим, плотность  $\rho_1$  возрастает в более глубоких горизонтах ( $\rho_1' > \rho_1''$ ).

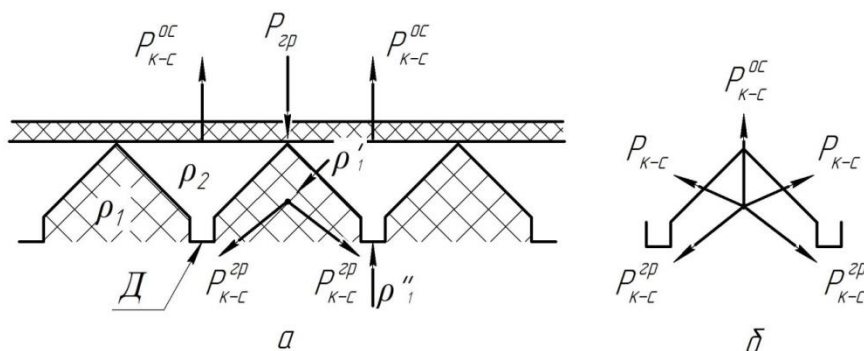


Рисунок 3 – Гребнистое дно борозды после чизелевания почвы

Под действием гравитационного давления  $P_{2p}$  – при наличии рыхлой почвы (плотностью  $\rho_2$ ) – часть почвенной влаги смещается вниз и сосредотачивается на дне углублений  $D$ , т.е. происходит обезвоживание внутрипочвенных гребней. В этом случае вектор капиллярно-сорбционного давления в гребнях  $P_{к-с}^{2p}$  отклоняется от вертикали в сторону дна углубления  $D$  (рисунок 3 б).

Внесённый на поверхность вспаханного поля осадок сточных вод, обладающий адсорбционными свойствами, будет аккумулировать воздух и влагу. Но вектор капиллярно-сорбционного давления осадка  $P_{к-с}^{oc}$  направлен вверх – в сторону минимума влаги. Суммарное значение капиллярно-сорбционного давления  $P_{к-с}$  влаги будет «раздваиваться» (рисунок 3 б) и, в конечном счёте, будет способствовать снижению влагоёмкости пахотного горизонта переувлажнённой почвы.

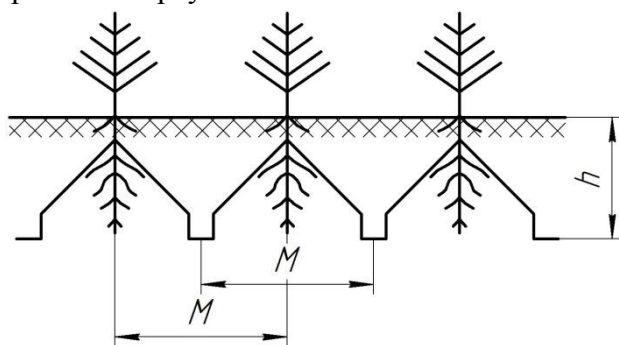


Рисунок 4 – Схема возделывания широкорядных пропашных культур

Эти особенности целесообразно учитывать при возделывании широкорядных пропашных культур. Для этого ряды растений, например, кукурузы располагают над гребнями, сформированными посредством чизельного орудия (рисунок 4). При такой схеме основные корни растений находятся в сравнительно плотных и обезвоженных гребнях, что чрезвычайно важно для переувлажнённых и заболоченных земель.

Для реализации этой схемы рабочие органы чизеля устанавливают на расстоянии 70-80 см. Это соответствует междуследию  $M$  пахоты – основной (зяблевой) обработки почвы (рисунок 4). Глубокую обработку (чизелевание) почвы, а также внесение в

качестве нетрадиционного удобрения-мелиоранта осадка выполняют один раз в 2-3 года. Глубина  $h$  пахоты – 50-60 см, доза внесения осадка – 20-25 т/га.

Следует подчеркнуть, что не всякий осадок сточных вод одинаково эффективен после его внесения в почву. Физико-химический состав и качество осадка как удобрения-мелиоранта зависит от исходного «сырья», технологии и продолжительности переработки. Удовлетворительные показатели имеет осадок на очистных сооружениях города Волжский.

Высокие показатели характерны для осадка города Энгельс, где применён современный ферментно-кавитационный метод переработки. Здесь глубина переработки посредством микроорганизмов (ферментов) в кавитационной среде доведена до наноструктурированного состояния, благодаря чему осадок и его органическое вещество ( $\approx 15\%$ ) легко доступны корням растений и почвенной биоте [6].

**Заключение.** Описанные особенности капиллярно-сорбционных эффектов в почве позволяют утверждать:

1. При влагонасыщении и, в частности, при внутрпочвенном орошении в почве действует давление влаги – гравитационное  $P_{gp}$  и капиллярно-сорбционное  $P_{к-с}$ ; вектор последнего может быть направлен вверх, вниз или вовсе отсутствовать.

2. На направление действия давления  $P_{к-с}$  существенное влияние оказывают исходная влажность почвы, глубокая (чизельная) обработка почвы и осадок сточных вод, обладающий адсорбционными свойствами и вносимый на поверхность почвы – в виде мульчирующего слоя – в качестве удобрения-мелиоранта.

3. Чизелевание почвы сопровождается формированием гребнистого дна, что способствует отклонению вектора давления  $P_{к-с}$  и обезвоживанию нетронутых внутрпочвенных гребней.

4. Для решения проблем переувлажнения земель рекомендуется чизельная обработка почвы на глубину 50-60 см с шириной междурядия 70-80 см, внесение (в дозе 20-25 т/га) осадка, при этом посадку широкорядных пропашных культур осуществлять над гребнями.

#### Библиографический список

1. Алеев, Б.А. Технология и техника для глубокого рыхления переувлажнённых почв [Текст]/ Б.А. Алеев // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – № 2. – С. 7-10.

2. Лобойко, В.Ф. Комплексные ресурсосберегающие и почвозащитные решения проблем мелиорации на юге России [Текст] : автореф. дис. ... д.т.н. / В.Ф. Лобойко. – Волгоград, 2009. – 39 с.

3. Овчинников, А.С. Развитие учения об агротехнической мелиорации земель [Текст]/ А.С. Овчинников, В.И. Пындак // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. -№ 3. – С. 158-168.

4. Палишкин, Н.А. Гидравлика и сельскохозяйственное водоснабжение [Текст] : учебное пособие / Н.А. Палишкин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 352 с.

5. Пындак, В.И. Особенности движения поливной воды при внутрпочвенном орошении [Текст]/ В.И. Пындак, В.Ф. Лобойко // Использование инновационных технологий для решения проблем АПК в современных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Т. 1. – Волгоград, 2009. – С. 368-371.

6. Пындак, В.И. Наноструктурированный осадок сточных вод – высокоэффективное удобрение-мелиорант [Текст]/ В.И. Пындак, Е.А. Литвинов, А.С. Межевова // Агрехимический вестник. – 2016.

7. Шеин, Е.В. Агрофизика [Текст] : учебник / Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. – 400 с.

8. Эффективное использование сточных вод и их осадков для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур [Текст]/ А.В. Шуравилин, А.С. Овчинников, В.В. Бородычев и др. – Волгоград: Волгоградская ГСХА, 2009. – 636 с.

9. Scheffer, M., Carpenter, S. et al. Catastrophic shifts in ecosystems [Текст]// Nature. 2001. 413 (6856). P. 591-596.

### References

1. Aleev, B. A. Tehnologiya i tehnika dlya glubokogo ryhleniya pereuvlazhnyonnyh pochv [Текст]/ B. A. Aleev // Traktory i sel'hozmashiny. - 2005. – № 2. - S. 7-10.
2. Lobjko, V. F. Kompleksnye resursosberegayuschie i pochvozaschitnye resheniya problem melioracii na yuge Rossii [Текст] : avtoref. dis. ... d. t. n. / V. F. Lobjko. - Volgograd, 2009. - 39 s.
3. Ovchinnikov, A. S. Razvitie ucheniya ob agrotehnicheskoy melioracii zemel' [Текст]/ A. S. Ovchinnikov, V. I. Pyndak // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. - 2014. -№ 3. - S. 158-168.
4. Palishkin, N. A. Gidravlika i sel'skohozyajstvennoe vodosnabzhenie [Текст] : uchebnoe posobie / N. A. Palishkin. - M.: Agropromizdat, 1990. - 352 s.
5. Pyndak, V. I. Osobennosti dvizheniya polivnoj vody pri vnutripochvennom oroshenii [Текст]/ V. I. Pyndak, V. F. Lobjko // Ispol'zovanie innovacionnyh tehnologij dlya resheniya problem APK v sovremennyh usloviyah: materialy Mezhdunar. nauch. -- prakt. konf. - T. 1. - Volgograd, 2009. - S. 368-371.
6. Pyndak, V. I. Nanostrukturirovannyj osadok stochnyh vod - vysoko]ffektivnoe udobrenie-meliorant [Текст]/ V. I. Pyndak, E. A. Litvinov, A. S. Mezhevova // Agrohimicheskij vestnik. - 2016.
7. Shein, E. V. Agrofizika [Текст] : uchebnyk / E. V. Shein, V. M. Goncharov. ? Rostov-na-Donu: Feniks, 2006. - 400 s.
8. Jeffektivnoe ispol'zovanie stochnyh vod i ih osadkov dlya orosheniya i udobreniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Текст]/ A. V. Shuravilin, A. S. Ovchinnikov, V. V. Borodychjov i dr. - Volgograd: Volgogradskaya GSXA, 2009. - 636 s.
9. Scheffer, M., Carpenter, S. et al. Catastrophic shifts in ecosystems [Текст]// Nature. 2001. 413 (6856). P. 591-596.

**E-mail:** mehanika33@mail.ru