

**В. В. Голдыбан, М. И. Курилович**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРООСМОСА ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА НА ПОЛНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВЕННОЙ ВОДЫ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследований по влиянию электроосмоса поверхностного типа на изменение полного потенциала почвенной воды.

*Ключевые слова:* почва, капиллярная вода, полный потенциал, электроосмос, бионика, поровое давление.

**V. V. Goldyban, M. I. Kurylovich**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **THE EFFECT OF SURFACE-TYPE ELECTROOSMOSIS ON THE FULL POTENTIAL OF SOIL WATER**

*Abstract.* The article presents the results of studies on the effect of surface-type electroosmosis on the change in the total potential of soil water.

*Keywords:* soil, capillary water, full potential, electroosmosis, bionics, pore pressure.

### **Введение**

Ранее нами было предложено использовать природное явление электроосмоса поверхностного типа для снижения тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающих машин [1, 2]. Основная идея повышения эксплуатационных характеристик рабочих органов заключалась в расположении положительных и отрицательных полюсов достаточно близко друг другу на трущихся с почвой поверхностях и пропускании через них электрического тока напряжением от 12 до 24 В. Электрический ток, проходя от катодов к аноду через капилляры почвы, увлекает за собой почвенную влагу. В результате этого у катодов увеличивается влажность и возникает зона водонасыщенной почвы. Электроосмотически перенесенная вода создает слой «смазки» на взаимодействующих с почвой поверхностях, улучшая их трибологические характеристики.

### **Основная часть**

В статье ставится цель получить энергетическую характеристику напряженного состояния воды в почве, контактирующей с электроосмотической поверхностью.

Так как почвенная влага находится под одновременным влиянием адсорбционных, капиллярных, осмотических и гравитационных силовых полей, то для оценки их влияния на энергетическое состояние почвы введено понятие полного потенциала почвенной воды. Этот обобщающий показатель выражается через давление поровой воды и измеряется с помощью тензиометров. Давление поровой воды – величина отрицательная, так как затрачивается работа (положительно-го знака) на его преодоление.

Для определения напряженного состояния почвы при пропускании через нее электрического тока нами были использованы прибор и оборудование, описанные в работе [3]. Для измерения давления поровой воды применены минитензиометры T 5 METER Group (Германия). Керамические наконечники тензиометров имеют размер пор  $r = 0,3$  мкм, что способствует быстрому

выравниванию концентрации ионов, и поэтому, со слов разработчика, влияние осмоса на изменения пренебрежимо мало.

В качестве электроосмотической поверхности использовали металлические диски № 2 и № 3 диаметром 55,3 см со вставками-электродами (рис. 1).

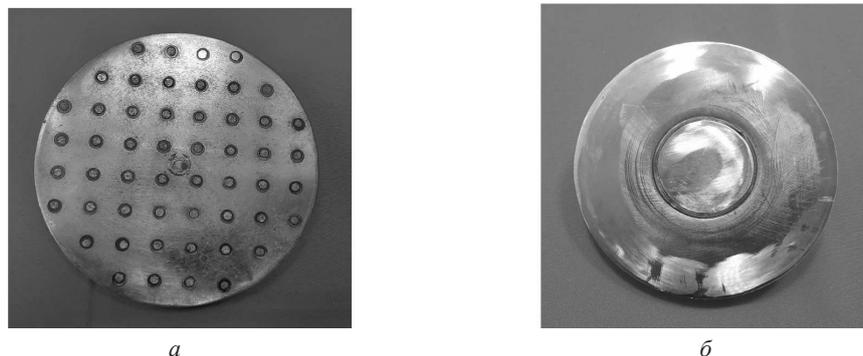


Рис. 1. Внешний вид исследуемых поверхностей: *a* – диск № 2; *б* – диск № 3

Диск № 2 (см. рис. 1, *a*) имеет 52 изолированные вставки-электроды диаметром 2 мм, размещенные друг от друга на расстоянии 10 мм. Электроды соединены между собой с тыльной стороны диска и имеют выводной контакт для подачи электричества. Так как диск и вставки-электроды выполняют функцию катода и анода, то во избежание короткого замыкания они разделены друг от друга пластмассовыми изоляторами.

Диск № 3 (см. рис. 1, *б*) имеет на своей поверхности единственный изолированный электрод диаметром 30 мм.

Первая серия опытов была произведена с диском № 2. Подаваемое напряжение составляло 24 В, влажность почвы в опыте – 16,2 %, тип почвы – суглинок Молодечненского района Минской области (д. Дуброво). В качестве анода (отрицательный электрод) выступали вставки, а катода (положительный электрод) – диск. Отношение площади анода к площади катода – 0,07.

Электрический ток должен вызывать движение почвенной влаги (капиллярной и гравитационной) от катода к аноду (рис. 2).

На первом этапе после уплотнения почвы в чаше и снятия излишков определяли давление поровой воды тензиометрами на глубине 6,5 см (рис. 3: 1) и 9,5 см (рис. 3: 2) без электроосмоса.

При отсутствии внешней сжимающей нагрузки на образец верхний тензиометр регистрировал изменение давление поровой воды с 6,5 до 4,0 кПа, нижний тензиометр – с 2,4 до 1,0 кПа. Это указывает на тот факт, что матричный потенциал почвы в исследуемых слоях отличается незначительно, а капиллярная и гравитационная вода распределена в них приблизительно равномерно.

При подаче напряжения на электроды (24 В) происходит перенос воды от катода к аноду через контактирующие с электроосмотической поверхностью слои почвы. Диск начинает работать как насос, высасывая воду из нижних слоев почвы и собирая ее на своей поверхности у анодов. Увеличение концентрации влаги в верхних слоях почвы фиксируется верхним тензиометром, что отмечается резким уменьшением абсолютного значения отрицательного давления воды (чем больше воды в исследуемом слое почвы, тем слабее она удерживается твердой фазой, тем ниже поровое давление и выше потенциал почвенной воды). Поровое давление воды на глубине 6,5 см от действия электроосмоса снижается на 3,4 кПа. Скорость снижения давления – 0,35 кПа/с.

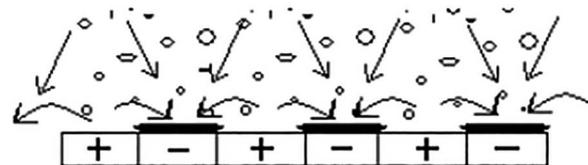


Рис. 2. Принципиальная схема поверхностного электроосмоса

Из графика видно, что явление электроосмоса наблюдается в верхних слоях почвы.

После снятия электрической нагрузки, прекращения переноса влаги к анодам диска, ее уменьшение сопровождается ростом давления поровой воды.

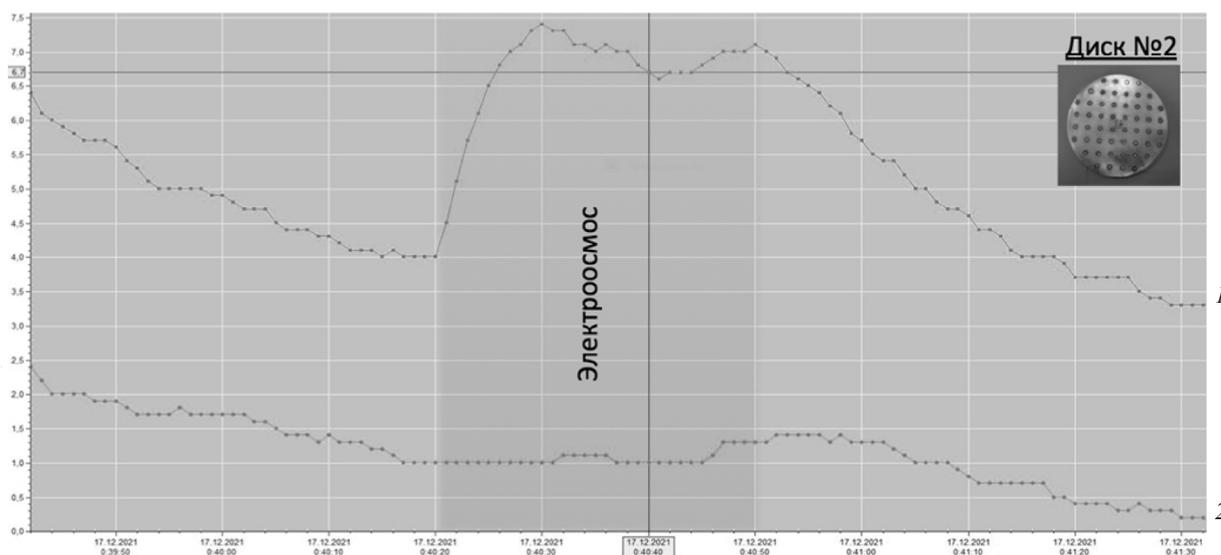


Рис. 3. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 2 (внешняя нагрузка отсутствует). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

После прикладывания внешней нагрузки к диску в 5,5 кПа показания верхнего и нижнего тензиометров увеличиваются в абсолютной величине с 3,2 и 0,2 кПа до –65,4 и –66,4 кПа соответственно, что в 12 раз больше величины прикладываемой нагрузки (рис. 4).

Характер изменения давления поровой воды в зоне верхнего и нижнего тензиометра при подаче напряжения на катод и аноды аналогичен описанному выше. Поровое давление воды на глубине 6,5 см от действия электроосмоса снижается на 4,4 кПа. Скорость изменения давления – 0,24 кПа/с.

После нахождения на отметке 61,0 кПа рост порового давления вводы, регистрируемый верхним тензиометром, достигает своего предельного значения, в результате чего кривая роста становится полой. Складывается впечатление, что верхний тензиометр регистрирует поток воды, перекачиваемой электроосмотической поверхностью из нижних слоев почвы. Увеличивается количество воды в зоне тензиометра и, как следствие, снижется регистрируемое поровое давление.

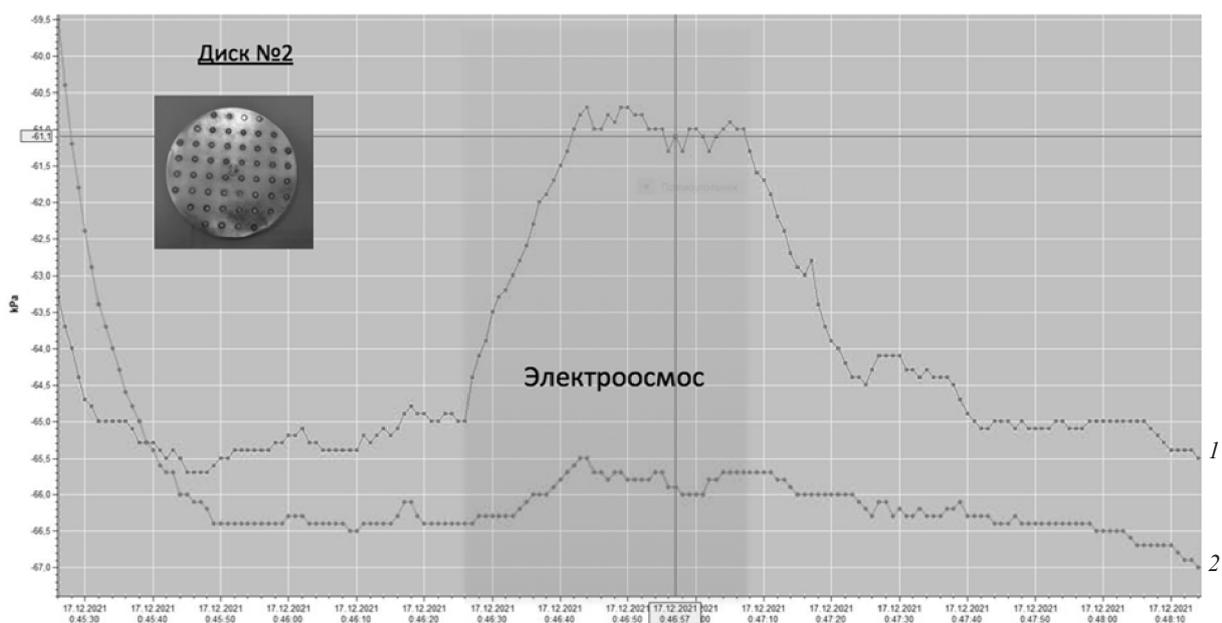


Рис. 4. Влияние электроосмоса на давление поровой воды для диска № 2 (приложена внешняя нагрузка). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

После снятия электроосмотической нагрузки движение воды прекращается, она распределяется в зонах с меньшим потенциалом, давление поровой воды уменьшается.

Можно заметить, что в этом опыте приложенная внешняя нагрузка в 5,5 кПа вызвала незначительное снижение давления на нижнем тензиометре. Это означает, что почвенная влага перемещалась под действием электроосмоса к анодам и из этой зоны. После снятия электрической нагрузки прекращается перенос влаги к анодам диска, ее уменьшение сопровождается ростом давления поровой воды в верхних слоях почвы.

Вторую серию опытов проводили с диском № 3 (см. рис. 1, 5). Условия проведения опыта: влажность почвы – 16,8 %, подаваемое напряжение – 24 В, внешняя нагрузка – 5,5 кПа, тип почвы – суглинок Молодечненского района Минской области (д. Дуброво). В качестве анода (отрицательный электрод) использована центральная вставка, а в качестве катода (положительный электрод) – диск. Отношение площади анода к площади катода – 0,42.

При отсутствии внешней сжимающей нагрузки на образец верхний тензиометр регистрировал изменение давления поровой воды с 6,5 до 4,0 кПа, нижний тензиометр – с 2,4 до 1,0 кПа. Это указывает на тот факт, что матричный потенциал почвы в исследуемых слоях отличается незначительно, а капиллярная и гравитационная влага распределена в них приблизительно равномерно.

При подаче напряжения на электроды (24 В) происходит перенос воды от катода к аноду через контактирующие с электроосмотической поверхностью слои почвы. Движение почвенной влаги зафиксировано обоими тензиометрами. Верхний тензиометр показывает уменьшение давления поровой воды вследствие ее миграции на 10 кПа. Скорость изменения давления от электроосмоса в этом слое почвы – 0,68 кПа/с. Нижний тензиометр в этом опыте показывает уменьшение давления поровой воды с 9,0 до 12,4 кПа. Скорость изменения давления от электроосмоса в этом слое почвы – 0,13 кПа/с.

После прикладывания внешней нагрузки к диску в 5,5 кПа показания верхнего и нижнего тензиометров увеличиваются в абсолютной величине с 6 и 8 кПа до –57 и –45 кПа соответственно, что в 9–11 раз больше величины прикладываемой нагрузки (рис. 6).

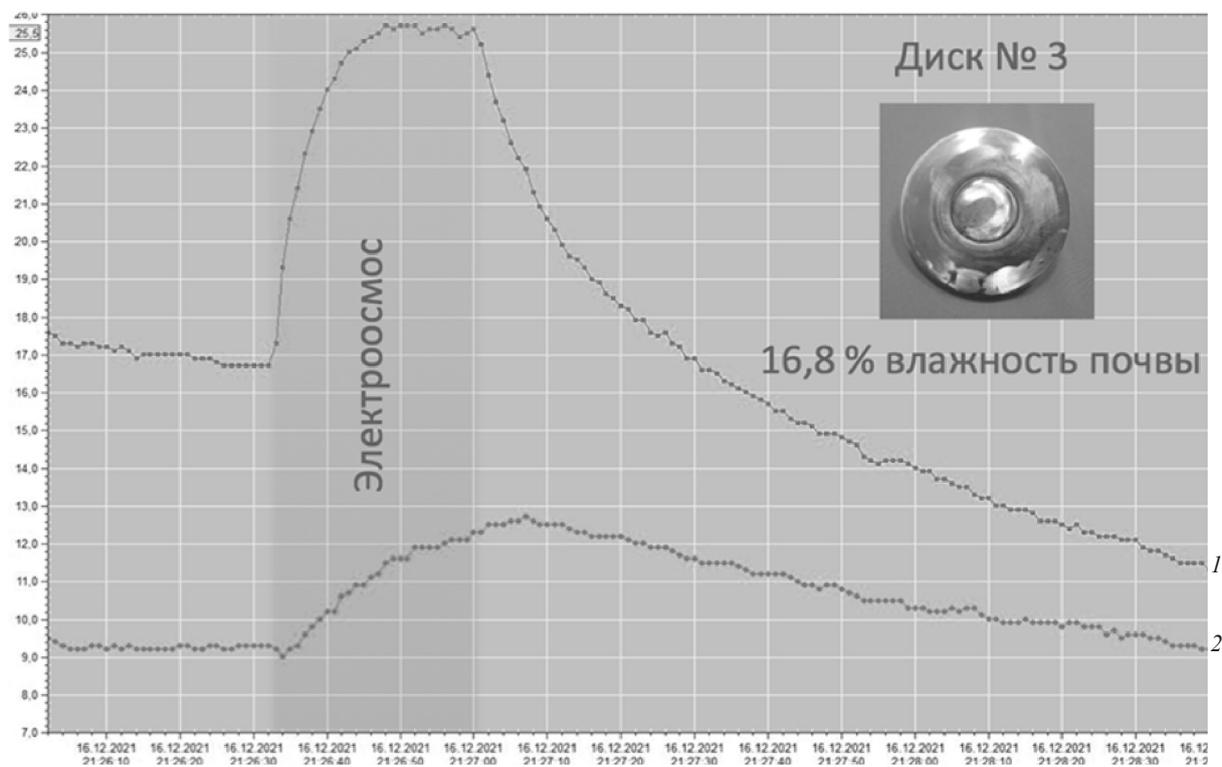


Рис. 5. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 3 (внешняя нагрузка отсутствует). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

Рост кривой давления первого тензиометра указывает на факт перемещения влаги в верхние слои почвы. От действия электроосмоса это движение становится более интенсивным, что сопровождается уменьшением давления в зоне верхнего тензиометра до  $-25$  кПа. Скорость изменения давления от электроосмоса в этом слое почвы –  $0,58$  кПа/с. Движение воды в зоне расположения нижнего тензиометра в сторону анода не наблюдается.

Для диска № 3 сделан дополнительный опыт под нагрузкой  $5,5$  кПа со сменой полярности электродов: в качестве анода использован диск, а в качестве катода – изолированная вставка-электрод. Отношение площади анода к площади катода –  $2,4$ . Влажность почвы в опыте –  $16,8\%$ . Это самое большое соотношение в проводимых нами опытах.

Результаты опыта представлены на рис. 7. Верхний тензиометр зарегистрировал на период включения напряжения уменьшение порового давления воды с  $-66$  до  $-10$  кПа со скоростью  $0,35$  кПа/с.

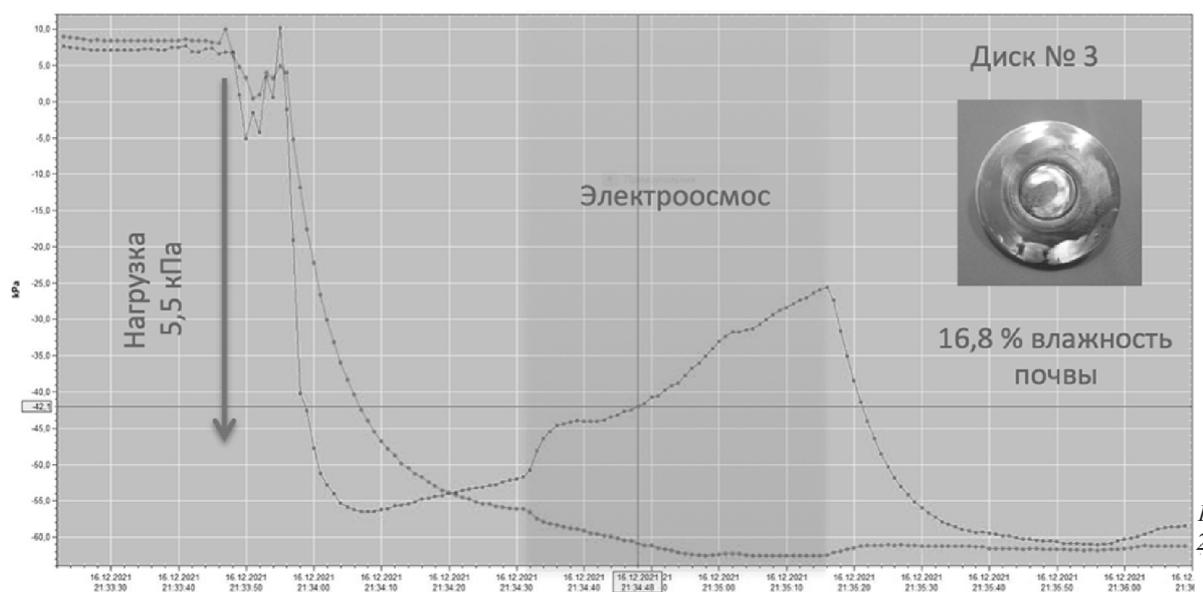


Рис. 6. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 3 (приложена внешняя нагрузка). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

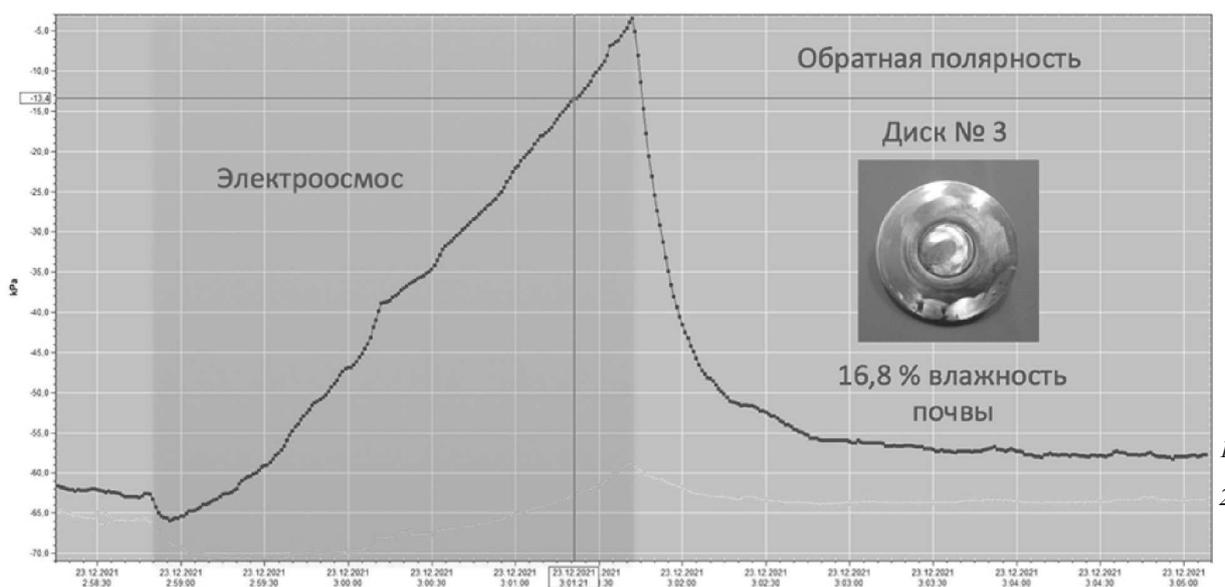


Рис. 7. Влияние электроосмоса на давление поровой воды в почве для диска № 3 (приложена внешняя нагрузка, обратная полярность). Показания верхнего (1) и нижнего (2) тензиометра

В серии опытов с диском № 3 при подаче напряжения на электроды диска происходит непрерывное уменьшение давления поровой воды, а следовательно, и перемещение воды к электроосмотической поверхности. Одинаковая пологость кривой давления свидетельствует о том, скорость перемещения поровой воды постоянна. Видно (см. рис. 7), что в течение 3 мин, пока подается напряжение на электроды, давление поровой воды не достигает своего порогового значения, как в серии опытов № 1. Перемещение почвенной влаги происходит преимущественно в верхних слоях почвы.

### **Выводы**

Проведенные исследования по изучению влияния электроосмоса поверхностного типа на полный потенциал почвы позволяют сделать следующие основные выводы.

1. При подаче напряжения на электроды происходит снижение давления поровой воды в контактирующем слое почвы, что свидетельствует о его насыщении влагой. После снятия электрической нагрузки прекращается перенос влаги к анодам, что сопровождается ростом давления поровой воды.

2. Влагоперенос под действием электрического тока происходит преимущественно в слое почвы толщиной до 10 см. Скорость перемещения влаги постоянна, о чем свидетельствует одинаковая пологость кривой давления.

3. Существенное влияние на перенос влаги к электроосмотической поверхности оказывает давление этой поверхности на слой почвы. Так, при внешнем давлении в 5,5 кПа на диск, контактирующий с почвой, давление поровой воды возрастает в 9–11 раз.

4. Схема расположения электродов и соотношение площади катода к аноду также оказывают влияние на изменение полного потенциала почвенной воды.

Исследования выполнены в рамках гранта Президента Республики Беларусь в науке, образовании, здравоохранении, культуре на 2021 год по исследованию энергетических показателей минеральных почв при контактном взаимодействии с морфологически негладкими и электроосмотическими поверхностями.

### **Список использованных источников**

1. Голдыбан, В. В. Снижение сил резания при почвообработке с помощью бионического метода электроосмоса / В. В. Голдыбан, А. Н. Антоненко, К. Н. Мисников // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 окт. 2018 г. / РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва» ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 275–280.

2. Голдыбан, В. В. Экспериментальные установки для исследований по земледельческой механике / В. В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 53. – С. 66–71.

3. Комлач, Д. И. Исследование адгезионных характеристик минеральных почв / Д. И. Комлач, В. В. Голдыбан, М. И. Курилович // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2021. – Вып. 55. – С. 8–11.