

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ МЕЛИОРАТИВНОМ ВНЕСЕНИИ ГИДРОГЕЛЕЙ**Т.Н. Данилова, Ю.В. Хомяков, П.Ю. Конончук****Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург***ответственный за переписку, e-mail: 79117717774@yandex.ru*

Биологическая активность почвы – показатель, характеризующий численность организмов, обитающих в почве, и количественно оценивающий результаты их жизнедеятельности. Высокая биологическая активность является фактором повышения плодородия почв и её фитосанитарного состояния, достигается путем создания оптимальных условий жизнедеятельности почвенных микроорганизмов: обеспеченности питательными элементами, прежде всего органическим веществом, влагой, теплом и аэрацией почвы. В данной работе проведена оценка влияния гидрогелей разной химической основы на микробиологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы. Изучено изменение биологической активности дерново-подзолистой почвы при внесении гидрогелей в почву вегетационных сосудов микрополевого опыта, заложенного в специальной установке, которая позволяет моделировать влагообеспеченность опытного участка – «засушнике», для исследования водообеспечения зерновых культур в условиях почвенной засухи и в полевых условиях (Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл.). «Засушник» состоит из металлического каркаса с крышей, покрытой полиэтиленовой плёнкой или поликарбонатом. Вокруг «засушника» вырыта канава шириной 30–35 см и глубиной 60–70 см для изоляции от атмосферной воды. Для изоляции корней растений от грунтовых вод на глубине два метра укладывают два слоя полиэтиленовой пленки. В «засушнике» можно моделировать атмосферную и почвенную засуху в засушливые годы, во влажные годы – только почвенную. Опыт заложен с двумя типами гидрогелей (калиевая и натриевая основа) с одной дозой внесения (40 г/м²). В эксперименте сравнивали показатели биологической активности почвы в вариантах: почва – контроль с внесением азотосодержащего удобрения (фон N₉₀P₉₀K₉₀), гидрогель, внесенный на глубину 10–12 см + N₉₀P₉₀K₉₀, гидрогель, внесенный на глубину 20–22 см + N₉₀P₉₀K₉₀. Образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы отбирали с глубины (10–12 см и 20–22 см) в начале и в конце вегетационного периода. В результате проведенных лабораторных исследований выявлено, что при внесении гидрогеля, как в верхнем корнеобитаемом слое почвы, так и в слое 20–22 см создаются благоприятные условия для микробиологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы. Установлено, что химическая основа гидрогеля не оказывает ингибирующего влияния на деятельность микробного сообщества.

Ключевые слова: биологическая активность, базальное дыхание, микробное дыхание, микробная биомасса, гидрогель

*Поступила в редакцию: 05.08.2020**Принята к печати: 10.06.2021***Введение**

Биологическая активность почвы – интегральный показатель, характеризующий общее содержание ферментов, высвобождающихся в течение жизни растений и почвенных микроорганизмов и накапливающихся в почве после деструкции микробных и растительных клеток (Забелина, 2014). Она определяется интенсивностью процессов трансформации органических соединений, а также направленностью процессов преобразования энергии и вещества в наземных экосистемах. К показателям биологической активности почвы обычно относят биомассу и количество различных групп почвенных микроорганизмов, их активность, ферментативную активность, количество и скорость накопления продуктов жизнедеятельности почвенных организмов, интенсивность процессов, связанных с трансформацией и круговоротом элементов и соединений (Купревич, 1951). Это важная характеристика почвы, дополняющая ее агрофизические и агрохимические свойства. Для оценки биологической активности и

плодородия почвы довольно часто используют показатели активности ферментов.

Основные методы определения показателей биологической активности включают микробиологический, биохимический, физиологический и химический. Традиционно выделяется фактическая и потенциальная биологическая активность почв, определяемая различными методами (Безкоровая, 2001). Потенциальная биологическая активность оценивается в искусственно создаваемых, оптимальных для конкретного исследуемого процесса условиях. Фактическая (реальная, естественная, полевая) биологическая активность определяется непосредственно в поле и характеризует реальную активность почвы в естественных условиях (Сэги, 1983).

С биологической активностью почвы связаны кислотнo-основные свойства, окислительно-восстановительный потенциал, почвенная структура, количество и качество органического вещества и другие физические и химические

показатели. На количество и активность почвенных микроорганизмов воздействует целый комплекс абиотических, биотических и антропогенных факторов окружающей среды. Формирование микробных сообществ почвы во многом определяется ее водно-воздушным и тепловым режимом. Естественное изменение сообществ микроорганизмов происходит при деструкции и вовлечении в биологический круговорот органического вещества. Так, на первых этапах разложения растительных остатков в них развиваются, как правило, неспорообразующие бактерии и грибы, в дальнейшем увеличивается количество бацилл и актиномицетов. Количество, систематическое разнообразие почвенной микробиоты во многом отражается в том, что разложение органических веществ в разных климатических зонах происходит с неодинаковой скоростью и направленностью (Заварзин, 2004; Мотузова, 2007).

Внесение полиакриламидных гелей в почву, особенно в аридных климатических условиях, оказывает положительное влияние на рост и развитие растений (Nayat, Ali, 2004). Полимерные гели многократно увеличиваются в объеме при набухании, обладают высокой способностью к абсорбции воды, при этом стабильны при многократных циклах дегидратации/гидратации. При внесении в почвенный корнеобитаемый слой частицы геля располагаются в межагрегатном пространстве и при поступлении влаги набухают, обеспечивая прирост влажности по сравнению с показателями в необработанной почве (Данилова, Табынбаева, 2019). Применение гидрофильного полимера дает возможность накапливать значительное количество продуктивной влаги в корневой зоне растений (Gilbert et al., 2014). Полиакриламидный гель может использоваться как потенциальный носитель для инсектицидов, фунгицидов, гербицидов и удобрений (Jhurry, 1997). Однако влияние гидрофильных акриловых полимеров на почвенную биоту очень мало изучено. В зарубежной литературе есть сведения, что полиакриламидный гидрогель может в небольшой степени стимулировать рост бактерий рода *Pseudomonas*, причем стимуляция роста связана с дополнительным поступлением аммонийного азота в среду при гидролизе амидных групп углеродной цепи полиакриламида (Kau-Shoemake et al., 1998b). Обнаружено, что количество культивируемых гетеротрофных бактерий значительно увеличивалось в почвах, обработанных полиакриламидом и засеянных картофелем, однако этот эффект не наблюдался, если обработанные почвы засеивались фасолью. Предполагалось, что почвы, обработанные полиакриламидом и засеянные картофелем, содержали значительно более высокие концентрации NO_3 и NH_3 , чем необработанные или засеянные фасолью почвы (Kau-Shoemake et al., 1998a).

В Агрофизическом НИИ еще в 80–90-х годах изучали влияние различных доз (0.1–0.25–0.5–1 % от веса почвы) АЛС (сополимерный акрилатно-лигносульфонатный структурообразователь) и длительность его действия (от 1 сут до 3 мес) на метаболизм почвы. Установлено, что внесение АЛС в количестве 1 % от массы почвы увеличивает скорость газообменных процессов в 1-й день эксперимента в 1.5–2 раза, что, по-видимому, обусловлено внесением значительного количества органического вещества. АЛС в дозах 0.5–1 % подавляет активность микроорганизмов, разрушающих целлюлозу, в первые 2 месяца после внесения его в почву; малые дозы АЛС (0.1 %), напротив,

значительно активируют жизнедеятельность (Абросимова, 1983).

Актуальная кислотность, как один из важнейших физико-химических показателей качества почвы, в значительной мере определяет характер микробиоты. Значение кислотности одного типа почвы на разных участках поля может незначительно отличаться, кислотность может изменяться в течение вегетационного периода, что связано, в том числе, с жизнедеятельностью микроорганизмов: выделением ими углекислого газа, образованием органических кислот и т.п.

Большинство групп микроорганизмов наиболее активны в нейтральной среде, микробиологические процессы в почве активируются при нейтрализации кислых и щелочных почв, то есть за счет нормализации кислотно-основных свойств почвы. Количество всех групп почвенных микроорганизмов с глубиной уменьшается, но химический состав почвы в пахотном слое остается относительно неизменным. Уменьшение численности микроорганизмов с глубиной может быть вызвано ухудшением водно-воздушного режима или накоплением каких-либо метаболитов в нижних горизонтах почвы. Более глубокие слои почвы могут характеризоваться большим количеством углекислого газа в составе почвенных газов, что способствует уменьшению количества микроорганизмов и соответственно снижению микробиологической активности. Более активным по энергии дыхания считается верхний слой почвы (Емцев, Мишустин, 2005).

Биологическая активность почвы тесно связана с содержанием и составом органических веществ. Именно деятельностью почвенных микроорганизмов определяются такие важные процессы, как минерализация растительных остатков, гумификация, дегумификация, динамика высвобождения элементов минерального питания, реакция почвенного раствора, трансформация различных загрязняющих веществ в почве. Для повышения биологической активности почвы применяют органические и бактериальные удобрения, сидераты, а также проводят мероприятия, обеспечивающие наилучшие физико-химические, водно-воздушные, окислительно-восстановительные и температурные условия. Одним из способов влияния на указанные свойства почвы, приводящих к изменению биологической активности и направленности процессов трансформации химических соединений в почве, служит внесение в корнеобитаемый слой биоугля (Рижия и др., 2017). Применение полимерных гелей улучшает водно-физические и водно-воздушные свойства почвы (Данилова, 2016) и соответственно должно способствовать повышению биологической активности почвенной микробиоты. В экспериментальных исследованиях зарубежных ученых (Pushpamalar et al., 2018, Rabat et al., 2016) показано, что SRFH (синтезированная смесь акриламида или акриловой кислоты с минеральным удобрением) экологически совместима с лесной почвой, и она не оказывает неблагоприятного воздействия на микробное сообщество лесной подстилки. Комбинация гидрогеля и минеральных удобрений (KNO_3 , NH_4NO_3) способствует снижению потерь влаги на испарение и медленному высвобождению элементов питания из удобрений в течение вегетации растений. В полевых исследованиях (Li et al., 2014) изучено влияние двух типов водопоглощающих полимеров Jaguar

С (JC) и Jaguar S (JS), на рост и развитие озимой пшеницы, физические свойства почвы и активность микробной массы. Установлено, что внесение в почву полимерных гелей способствовало образованию макро почвенных агрегатов (размер частиц >0.25 мм) и увеличению количества микроорганизмов в почве при возделывании озимой пшеницы. Обработка посевов пшеницы полимером JC повысила урожайность культуры, улучшила эффективность использования доступного углерода почвенными микроорганизмами и увеличила микробное дыхание.

На основании экспериментальных работ зарубежных ученых (Sojka et al., 2006, Li et al., 2014, Ma et al., 2016, Jing et al., 2015) была определена цель нашего исследования. Она заключалась в оценке влияния двух типов гидрогелей (на натриевой и калиевой основе) на микробиологическую активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогелей в корнеобитаемый слой (10–12 см) почвы и в слой (20–22 см) в условиях почвенной засухи и в полевых условиях.

Материалы и методы

Объектом исследования служила дерново-подзолистая супесчаная почва, взятая из вегетационных сосудов микрополевого опыта, заложенного в 2015 году в специальной установке «засушник» и в полевых условиях (Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, Гатчинский р-н, Ленинградская обл.). «Засушник» – установка, состоящая из рамы со светопропускающим поликарбонатным экраном, позволяющая моделировать влагообеспеченность опытного участка путём исключения воздействия внешних осадков.

Общая площадь «засушника»–50 м², площадь, занятая экспериментом–15 м². Опыт заложен в вегетационных

Поставленная цель включает решение следующих задач: определить влияние разных типов гидрогелей на микробное и базальное дыхание почвенной микробиоты и исследовать возможность ингибирующего действия гидрогелей различных типов на жизнедеятельность микроорганизмов дерново-подзолистой супесчаной почвы.

В данной работе впервые исследована микробиологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях модельной почвенной засухи. Изучено влияние гидрогелей отечественного производства с разной структурной основой на эффективность использования доступного углерода микрофлорой почвы при внесении гелей на глубину корнеобитаемого и пахотного слоя. Гидрогели отечественного производства обладают высокой водоудерживающей способностью (Данилова, 2020), и также эффективны при применении в современных агротехнологиях как и зарубежные полимерные гели (Данилова, Табынбаева, 2019), но стоимость производства отечественных гидрогелей значительно ниже.

сосудах $S = 0.075 \text{ м}^2$; $V = 0.0025 \text{ м}^3$. Повторность опыта пятикратная, размещение вариантов систематическое (рис. 1). Для эксперимента взяты два типа гидрогелей: гидрогель «Ритин-10» (натриевая основа), содержание К–27.05%; Na–36.98%, 1 г гидрогеля удерживает 300 мл воды; гидрогель «В–415К» (калиевая основа), содержание К₂O–не менее 21%, 1 г гидрогеля удерживает 400 мл воды. Доза внесения гидрогеля: из расчета 400 кг/га–4 гр/м². Для сравнения эксперимент с аналогичной схемой заложен в полевых условиях (Данилова, 2018).



защитная полоса							
защитная полоса	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22см)	защитная полоса	
	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22см)		
	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22см)		
	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22см)		
	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22см)		
защитная полоса							

Рисунок 1. Микрополевого эксперимент («засушник», полевые условия) и схема опыта
 Обозначения: К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см;
 Na (20–22) и К (20–22) – гидрогель, внесенный в слой 20–22 см.
 Na – гидрогель натриевая основа; К – гидрогель калиевая основа

Figure 1. Experimental setup (drought simulator, field conditions)
 Designations: K – control; Na (10–12) and K (10–12) – hydrogel applied to the 10–12 cm layer;
 Na (20–22) and K (20–22) – hydrogel applied to the 20–22 cm layer.
 Na – sodium based hydrogel; K – potassium based hydrogel

Варианты опыта:

1. Контроль – фон $N_{80}P_{80}K_{80}$
2. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_{Na}$ (10–12 см)
3. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_K$ (10–12 см)
4. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_{Na}$ (20–22 см)
5. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_K$ (20–22 см)

Для изучения влияния гидрогелей на изменение биологической активности почвы, образцы отбирались с глубины 10–12 см и 20–22 см на начальном и заключительном этапах вегетации. Образцы почвы высушивали при температуре 22–24 °С и просеивали через сито (ячейка диаметром 2 мм). Интенсивность дыхания почвы измерялась в лабораторных условиях по интенсивности выделения CO_2 из почвы при увлажнении, соответствующей 65–70% от ППВ по методике, представленной в лабораторном практикуме (Банкин и др., 2005).

Расчет величины базального дыхания (БД) V_{basal} (мг С/г/час) проводился по формуле:

$$V_{basal} = (C1 - C0) \times 12 \times V_{флак} \times 1000 / m \times 22.4 \times t \times 100 \quad (1)$$

где $C0$ – начальная концентрация CO_2 во флаконе, объемные %; $C1$ – конечная концентрация CO_2 во флаконе; $V_{флак}$ – объем флакона, мл; t – время инкубации, час; m – навеска почвы, г.

Содержание углерода микробной биомассы определяли методом субстрат–индуцированного дыхания – СИД (Anderson, Domsch, 1978; Ананьева и др., 2011). В настоящее время СИД относится к одному из стандартных

методов определения микробной биомассы почвы. Содержание углерода микробной биомассы определяли по формуле:

$$Cmic = 40.04 \times VSIR + 0.37 \quad (2)$$

где $Cmic$ – содержание углерода, иммобилизованного в микробной биомассе (мкг С/100 г почвы), $VSIR$ – скорость субстрат-индуцированного дыхания (СИД, мг С/1 г почвы/час).

Для характеристики эффективности использования доступного углерода микробным сообществом использовали метаболическое частное (qCO_2). Метаболическое частное (qCO_2) служит индикатором стресса микробного сообщества. Чем ниже значения qCO_2 , тем лучше состояние микробного сообщества, т.е. микроорганизмы тратят меньше энергии на содержание и формирование единицы биомассы (Мостовая и др., 2015; Сушко и др., 2016). Метаболическое частное рассчитывается по формуле:

$$qCO_2 = V_{basal} / V_{SIR} \quad (3)$$

Статистическую обработку экспериментальных и расчетных данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel и Statistics 5.0 («StatSoft, Inc.», США). Статистический анализ включал вычисления значения средних (M) и стандартных отклонений ($\pm SD$). Достоверность различий средних значений между вариантами опыта и контролем оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), при $p \leq 0.05$.

Результаты

В результате проведенных лабораторных исследований получены следующие показатели биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении двух типов гидрогелей. Продуцирование CO_2 микроорганизмами почвы рассматривается как ее базальное дыхание (БД), или дыхательный потенциал.

Анализ гистограмм биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы под культурой ячменя в фазу колошение показывает, что базальное дыхание в полевых условиях в вариантах с гидрогелем, внесенным в верхний корнеобитаемый слой и в слой 20–22 см, ниже, чем базальное дыхание в вариантах с гидрогелем в «засушнике», а микробное дыхание (СИД) выше в полевых условиях (рис. 2). Однако результаты статистического анализа не показали достоверных различий ($p < 0.001$) базального дыхания между контролем и вариантами с гидрогелем в начале вегетации как в «засушнике», так и в полевых условиях.

Внесение гидрогеля в верхний корнеобитаемый слой почвы в «засушнике» достоверно повысило микробное дыхание ($p = 0.05$) в варианте с гидрогелем на калиевой основе, в варианте с гидрогелем на натриевой основе достоверных различий не обнаружено. Это объясняется тем, что гидрогель на калиевой основе удерживает большее количество влаги (400 мл), чем гидрогель на натриевой основе (300 мл). Сравнение контроля с вариантами, где гидрогель был внесен в слой 20–22 см выявило достоверные ($p < 0.05$) различия в обоих вариантах. В полевых условиях внесение гидрогеля в верхний корнеобитаемый слой способствовало достоверному ($p = 0.05$) повышению микробного дыхания, особенно в варианте с гидрогелем на калиевой основе. Внесение гидрогеля в слой 20–22 см также имело

достоверные ($p < 0.05$) различия в варианте с гидрогелем на натриевой основе и ($p = 0.05$) в варианте с гидрогелем на калиевой основе, по сравнению с контрольным вариантом. Базальное дыхание в вариантах с гидрогелем было ниже, чем на контроле и не имело существенных различий.

Анализ гистограмм биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы в конце вегетации показывает, что в этот период наблюдается снижение деятельности почвенных бактерий как в «засушнике», так и в полевых условиях (рис. 3).

Микробное дыхание в «засушнике» только в варианте с гидрогелем на натриевой основе, внесенным в корнеобитаемый слой, достоверно отличается от контроля ($p = 0.05$). При сравнении контроля и остальных вариантов с гидрогелем, достоверных различий не выявлено. Внесение гидрогеля, как в корнеобитаемый слой, так и на глубину 20–22 см «засушнике» не привело к достоверному повышению базального дыхания. В полевых условиях микробное дыхание не имело достоверных различий между вариантами с гидрогелем и контролем. Базальное дыхание имело достоверные ($p < 0.05$) отличия от контроля только в варианте с гидрогелем на натриевой основе, внесенным в слой 10–12 см. При сравнении вариантов с гидрогелем, внесенным в слой 20–22 см, с контрольным вариантом достоверных различий не обнаружено.

В таблице 1 показана эффективность использования доступного углерода микроорганизмами в «засушнике» и в полевых условиях. Показатель qCO_2 служит индикатором стресса микробного сообщества и, чем меньше этот показатель, тем лучше состояние микробного сообщества (Мостовая и др., 2015; Сушко и др., 2016).

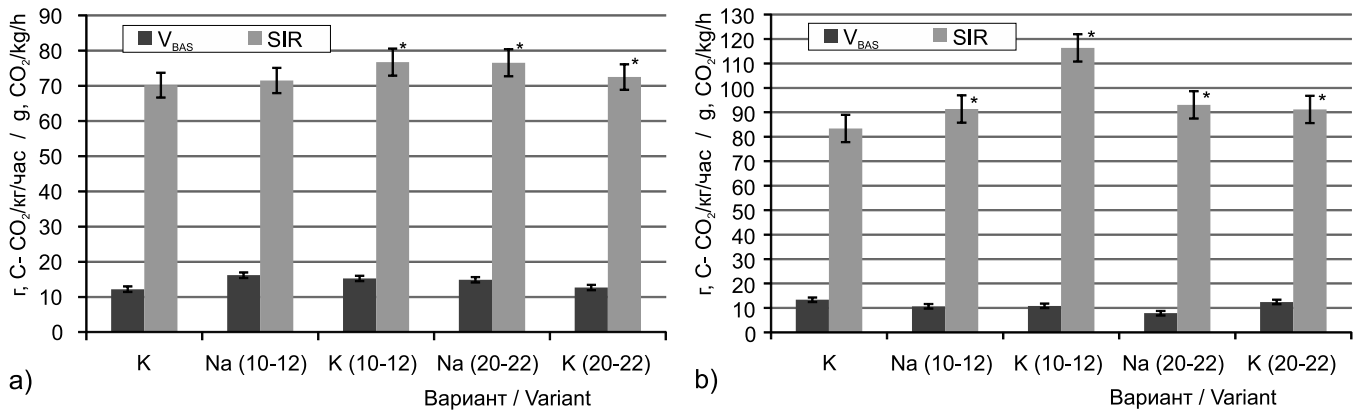


Рисунок 2. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля. Фаза развития ячменя – колошение; а) – «засушник»; б) – полевые условия; 2015 г.

Обозначения: V_{BAS} – базальное дыхание; SIR – микробное дыхание;
 К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см;
 Na (20–22) и К (20–22) – гидрогель, внесенный в слой 20–22 см.
 Показаны средние (М) и стандартные отклонения (±SD).
 Достоверность отличия от контроля: *p≤0.05

Figure 2. Biological activity of the sod-podzolic soil amended with hydrogel Barley development phase – head emergence; а) – «dry place»; б) – field conditions; 2015
 Designations: V_{BAS} – basal breathing; SIR – microbial breathing;
 К – control; Na (10–12) and К (10–12) – hydrogel added into the 10–12 cm layer;
 Na (20–22) and К (20–22) – hydrogel added into the 20–22 cm layer.
 Means (M) and standard deviations (± SD) are shown.
 Differences from control: * p≤0.05

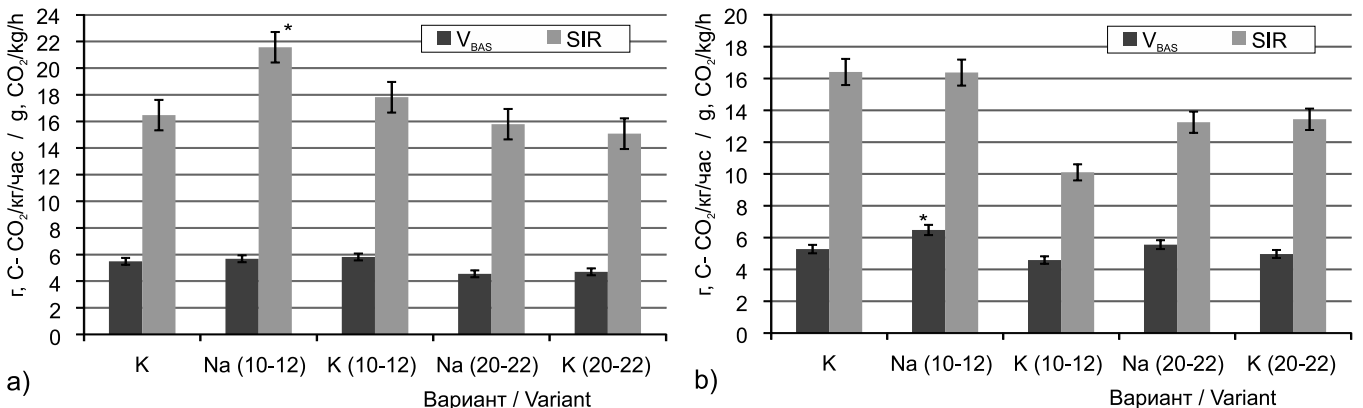


Рисунок 3. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля. Фаза развития ячменя – восковая спелость; а) – «засушник»; б) – полевые условия; 2015 г.

Обозначения: V_{BAS} – базальное дыхание; SIR – микробное дыхание;
 К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см;
 Na (20–22) и К (20–22) – гидрогель, внесенный в слой 20–22 см.
 Показаны средние (М) и стандартные отклонения (±SD).
 Достоверность отличия от контроля: *p≤0.05

Figure 3. Biological activity of the sod-podzolic soil when amended with a hydrogel Barley development phase – wax ripeness; а) – «dry place»; б) – field conditions; 2015.
 Designations: V_{BAS} – basal breathing; SIR – microbial breathing;
 К – control; Na (10–12) and К (10–12) – hydrogel made in layer 10–12 cm;
 Na (20–22) and К (20–22) – hydrogel made in layer 20–22 cm.
 Means (M) and standard deviations (± SD) are shown.
 Differences from control: * p≤0.05

Метаболический коэффициент (qCO₂) в фазу колошения в «засушнике» в вариантах с гидрогелем немного превышает этот показатель в контрольном варианте, т.е. эффективность использования доступного углерода микроорганизмами понижена. В полевых условиях, в

вариантах с гидрогелем, микроорганизмы эффективно используют доступный углерод, так как метаболический коэффициент ниже, чем на контрольном варианте. Можно предположить, что внесение гидрогеля в полевых условиях способствовало улучшению водно-физических свойств

Таблица 1. Эффективность использования доступного углерода микробным сообществом
Table 1. Efficiency of using of the available carbon by microbial community

Варианты опыта Treatments	Метаболический коэффициент (qCO_2) Metabolic coefficient (qCO_2)	
	10–12 см	20–22 см
«засушник» – фаза колошение / Draught simulator – head emergence phase		
Контроль Control	0.173±0.2	
Γ_{Na}	0.224±0.2	0.194±0.1
Γ_K	0.201±0.2	0.138 ±0.2
полевые условия – фаза колошение / Field conditions – head emergence phase		
Контроль Control	0.160±0.2	
Γ_{Na}	0.139±0.2	0.162 ±0.2
Γ_K	0.117±0.3	0.150 ±0.1
«засушник» – фаза восковая спелость / Draught simulator – wax ripeness phase		
Контроль Control	0.333±0.07	
Γ_{Na}	0.335±0.1	0.287±0.08
Γ_K	0.326±0.03	0.312±0.07
полевые условия – фаза восковая спелость / Draught simulator – wax ripeness phase		
Контроль Control	0.317±0.04	
Γ_{Na}	0.338±0.07	0.418±0.06
Γ_K	0.460±0.06	0.364±0.05

Примечание: Γ_{Na} ; Γ_K – гидрогель с натриевой и калиевой основой.

Γ_{Na} ; Γ_K – hydrogel based on sodium or potassium, respectively.

почвы и снижению стресса микробного сообщества. Тип гидрогеля (калиевая или натриевая основа) не оказывал ингибирующего влияния на жизнедеятельность микроорганизмов почвы в полевых условиях. Проведенный статистический анализ метаболического коэффициента по вариантам опыта не показал достоверных различий между вариантами с гидрогелем и контролем. Между вариантами с гидрогелем также не обнаружено существенных различий. Однако в фазу восковой спелости в полевых условиях наблюдается превышение метаболического коэффициента в вариантах с гидрогелем. Предполагаем, что

причина такого превышения связана с влажностью почвы. В работе (Данилова, 2018) представлены данные по объемной влажности дерново-подзолистой супесчаной почвы в «засушнике» и в полевых условиях за период вегетации ячменя. Так в вариантах с гидрогелем в полевых условиях объемная влажность почвы в фазу восковой спелости выше, чем на контроле. В «засушнике» влажность очень низкая. Вероятно, что в полевых условиях в результате выпадения осадков и наличия гидрогеля произошло повышение влажности почвы, что привело к снижению биологической активности микроорганизмов в конце вегетации.

Обсуждение

Результаты проведенных лабораторных исследований показали, что наличие гидрогеля в верхнем корнеобитаемом слое и в слое 20–22 см, как в «засушнике», так и в полевых условиях достоверно ($p \leq 0.05$) повышало микробное дыхание в начальный период вегетации. Это отмечено у обоих типов гидрогелей, но калиевый гидрогель проявил себя лучше. Вероятно, наличие калия и возможность удерживать большее количество влаги способствовало созданию благоприятных водно-физических условий для жизнедеятельности микробиоты почвы, это было установлено ранее в наших исследованиях (Данилова, 2018). Исследованиями Дж. Пушпамалара с соавторами (Pushpamalar et al., 2018) показано, что введение в структуру гидрогелей нитрата калия (KNO_3) и нитрата аммония (NH_4NO_3), дает возможность использовать их в качестве удобрений, так как они обладают свойством медленного высвобождения микроэлементов, биоразлагаемостью и хорошей водоудерживающей способностью.

Базальное дыхание в вариантах опыта с гидрогелем значительно отличалось от контроля, статистический анализ существенных различий ($p < 0.001$) не выявил как в начале вегетации (в фазу колошения), так и в фазу восковой спелости. В вариантах с гидрогелем микроорганизмы эффективнее используют доступный углерод в полевых условиях, чем в «засушнике». Метаболический коэффициент

в вариантах с гидрогелем ниже, чем в контрольном варианте, следовательно, состояние микробного сообщества лучше. Способность водопоглощающих полимеров повышать микробное дыхание и понижать метаболический фактор, подтверждена зарубежными исследователями (Li et al., 2014, Jing et al., 2015). В исследованиях (Sojka et al., 2006) было показано, что при внесении в почву большого количества полиакриламида дополнительный N, содержащийся в полимере, может уменьшить активность бактериальной и грибковой биомассы, однако заметного влияния на метаболический потенциал микроорганизмов почвы он не оказывает. Подавляющего действия гидрогелей (натриевая и калиевая основа) на жизнедеятельность почвенных микроорганизмов в наших исследованиях также не обнаружено. К снижению биологической активности почвенных микроорганизмов может приводить избыток или недостаток влаги в почве.

Таким образом, сравнение результатов нашего исследования с исследованиями зарубежных ученых показало, что применение гидрогелей не приводит к неблагоприятным последствиям для почвенного микробного сообщества, а наличие нитрата калия или нитрата аммония повышают доступность для микроорганизмов основных субстратов, таких как NH_3 и NO_3 , что способствует увеличению почвенной микробиологической активности.

Библиографический список (References)

- Абросимова ЛН (1983) Биологическая оценка лигниновых структурообразователей. *Бюл. АФИ* 53:42–45
- Ананьева НД, Стольников ЕВ, Сусьян ЕА, Ходжаева АК (2010) Грибная и бактериальная микробная биомасса (селективное ингибирование и продуцирование CO₂ и N₂O дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов). *Почвоведение* 11:1387–1393
- Банкин МП, Банкаина ТА, Коробейникова ЛП (2005) Физико-химические методы в агрохимии и биологии почв (учебное пособие). СПб.: СПбГУ. 175 с.
- Безкоровайная ИН (2001) Биологическая диагностика и индикация почв (краткий курс лекций). Красноярск: Красноярский ГАУ. 12–17
- Данилова ТН (2016) Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и влагообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров. *Агрофизика* 1:8–16
- Данилова ТН (2018) Влияние полимерных гелей «Ритин-10» и «В 415-К» на водообеспечение зерновых культур в условиях почвенной засухи. *Агрофизика* 1:1–9. <https://doi.org/10.25695/AGRP.2018.01.01>
- Данилова ТН, Табынбаева ЛК (2019) Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum.*) в разных экологических условиях. *Сельскохозяйственная биология* 54(1):76–83. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.76rus>
- Данилова ТН (2020) Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой почвы. *Агрофизика* 3:17–22. <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.03.03>
- Емцев ВТ, Мишустин ЕН (2005) Микробиология: учебник для вузов. М.: Дрофа. 445 с.
- Забелина ОН (2014) Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира). *Дисс. ... к.б.н.* Владимир. 146 с.
- Заварзин ГА (2004) Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука. 348 с.
- Купревич ВФ (1951) Биологическая активность почвы и методы ее определения. *Докл. АН СССР* 79:863–866
- Мостовая АС, Курганова ИН, Лопес де Гереню ВО, Хохлова ОС, Русаков АВ, Шаповалов АС (2015) Изменение микробиологической активности серых лесных почв в процессе естественного лесовосстановления. *Вестник ВГУ Серия: химия, биология, фармация* 2:64–72
- Мотузова ГВ (2007) Экологический мониторинг почв. М.: Академический проект. 237 с.
- Рижия ЕЯ, Мухина ИМ, Вертебный ВЕ, Хорак Я, Конончук ПЮ, Хомяков ЮВ (2017) Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем. *Сельскохозяйственная биология* 52(3):464–470. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.464rus>
- Сэги И (1983) Методы почвенной микробиологии. М.: Наука. 182 с.
- Сушко СВ, Ананьева НД, Иващенко КВ, Васенев ВИ, Саржанов ДА (2016) Микробное дыхание почвы в полевых и лабораторных условиях. *Агрофизика* 4:17–23
- Anderson J, Domsch KH (1978) A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol Biochem* 10:215–221
- Gilbert C, Peter S, Wilson Ng, Edward M, Francis M, Sylvester K, Erick B (2014) Effects of Hydrogels on Soil Moisture and Growth of *Cajanus cajan* in Semi Arid Zone of Kongelai, West Pokot County. *Open Journal of Forestry* 4(1):34–37
- Hayat R, Ali S (2004) Water absorption and its effect on soil properties and tomato yield. *Int J Agri Biol* 6(6):998–1002
- Jhurry D (1997) Agricultural polymers Food and Agricultural Research Council, Rédu it, Conf. Proc. AMAS 109–113
- Jing D, Xing S, Liu F, Ma H, Du Z (2015) Border irrigation co-applied with super absorbent polymers improving soil physical characteristics and increasing microbial activity in poplar forest. *Trans Chin Soc Agric Eng* 31(14):116–122
- Kay-Shoemake JL, Watwood ME, Lentz RD, Sojka RE (1998a) Polyacrylamide as an organic nitrogen source for soil microorganisms with potential effects on inorganic soil nitrogen in agricultural soil. *Soil Biol Biochem* 30(8/9):1045–1052
- Kay-Shoemake JL, Watwood ME, Sojka RE, Lentz RD (1998b) Polyacrylamide as a substrate for microbial amidase in culture and soil. *Soil Biol Biochem* 30(13):1647–1654
- Li X, He JZ, Hughes JM, Liu YR, Zheng YM (2014) Effects of super-absorbent polymers on a soil-wheat (*Triticum aestivum* L.) system in the field. *Appl Soil Ecol* 73:58–63 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.005>
- Ma HL, Liu FC, Ma BY, Du Z, Jing D, Xing S (2016) Effects of super-absorbent polymer on the microbial community structure in rhizosphere soil and drought resistance of *platycladus orientalis* container seedlings. *Chin J Appl Environ Biol* 01:43–48
- Pushpamalar J, Langford S J, Ahmad M B, Lim YY, Hashim K (2018) Eco-friendly smart hydrogels for soil conditioning and sustain release fertilizer. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 15:2059–2074. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1598-2>
- Rabat NE, Hashimb S, Majidb RA (2016) Effect of different monomers on water retention properties of slow release fertilizer hydrogel. *Engineering* 148:201–207
- Sojka R.E., Entry J.A., Fuhrmann J.J. (2006) The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. *Appl Soil Ecol* 32(1):243–252. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.06.007>

Translation of Russian References

- Abrosimova LN (1983) [Biological evaluation of lignin builders]. *API Bulletin*, 53:42–45 (In Russian)
- Ananeva ND, Stolnikova EV, Susyan EA, Khodzhaeva AK (2010) [Fungal and bacterial microbial biomass (selective inhibition and production of CO₂ and N₂O by sod-podzolic soils of post-agrogenic biogeocenoses)]. *Soil Science* 11:1387–1393 (In Russian)
- Bankin MP, Bankina TA, Korobeynikova LP (2005) [Physicochemical methods in agrochemistry and soil biology. (tutorial)]. St. Petersburg: SpbSU. 175 p. (In Russian)
- Bezkorovaynaya IN (2001) [Biological diagnostics and indication of soils. (short course of lectures)]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University. 12–17 (In Russian)

- Danilova TN (2016) [Regulation of the water regime of sod-podzolic soils and moisture supply to plants using water-absorbing polymers]. *Agrofizika* 1:8–16 (In Russian)
- Danilova TN (2018) [Influence of polymer gels «Ritin-10» and «V 415-K» on water supply of grain crops in conditions of soil drought]. *Agrofizika* 1:1–9 (In Russian) <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.01.01>
- Danilova TN, Tabynbaeva LK (2019) [Polymer gels for control of water availability in wheat (*Triticum aestivum*.) In different environmental conditions]. *Agricultural Biology* 54(1):76–83 (In Russian) https://doi.org/10.153k89/agrobiology.2019.1.76_rus
- Danilova TN (2020) [The effect of polymer gels on the range of available moisture of the dend-podzolic soil]. *Agrofizika* 3:17–22 (In Russian) <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.03.03>
- Emtcev VT, Mishchustin EN (2005). [Microbiology: a textbook for high schools]. Moscow: Drofa. 445 p. (In Russian)
- Zabelina ON (2014) [Assessment of the ecological state of the soil of urban recreational areas based on indicators of biological activity (for example, Vladimir)]. *PhD Thesis*. Vladimir. 146 p. (In Russian)
- Zavarzin GA (2004) [Lectures on natural microbiology]. Moscow: Nauka, 348 p. (In Russian)
- Kuprevich VF (1951) [Biological activity of the soil and methods for its determination]. *Reports of Academy of Sciences of USSR* 79:863–866 (In Russian)
- Mostovaya AS, Kurganova IN, Lopes de Gerenyu VO, Hohlova OS, Rusakov AV, SHapovalov AS (2015) [Changes in the microbiological activity of gray forest soils in the process of natural reforestation]. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: chemistry, biology, pharmacy* 2:64–72 (In Russian)
- Motuzova GV (2007) [Ecological monitoring of soils]. M.: Academic project 237 p. (In Russian)
- Rizhiya EYa, Mukhina IM, Vertebniy VE, Horak J, Kononchuk PYu, Khomyakov YuV (2017) [Soil enzymatic activity and nitrous oxide emission from light-textured spodosol amended with biochar]. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* 52(3):464–470 (In Russian) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.464rus>
- Segi I (1983) [Methods of soil microbiology]. M.: Nauka. 182 p. (In Russian)
- Sushko SV, Ananeva ND, Ivashchenko KV, Vasenev VI, Sarzhanov DA (2016) [Microbial respiration of the soil in the field and laboratory conditions]. *Agrophysics* 4:17–23 (In Russian)

Plant Protection News, 2021, 104(2), p. 97–104

OECD+WoS: 4.01+XE (Soil Science)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-2-13961>

Full-text article

BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOD-PODZOLIC SAND SOIL AMENDED BY HYDROGELS

T.N. Danilova, Yu.V. Khomyakov, P.Yu. Kononchuk*

Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia

*corresponding author, e-mail: 79117717774@yandex.ru

Biological activity of the soil is an indicator characterizing the number of organisms living in it, and quantitatively evaluating results of their activity. High biological activity is a factor in increasing soil fertility and its phytosanitary state. It is achieved by creating optimal living conditions for soil microorganisms: providing nutrients, especially organic matter, moisture, heat and soil aeration. In this paper, we assess the effect of two chemically distinct hydrogels on microbiological activity in the sod-podzolic sandy loam soil. We studied hydrogel effects on the biological activity of sod-podzolic soil in containers kept in a drought simulator and under field conditions. The experiment was conducted at Menkovsky branch of the Agrophysical Research Institute located in Gatchinsky district, Leningrad region). The drought simulator is a metal frame supporting a transparent plastic roof and surrounded by a 30–35 cm wide and 60–70 cm deep ditch for insulation from water. Plant roots were also isolated from groundwater by placing two layers of polyethylene film at a depth of two meters. The experiment tested application of 40 g/m² potassium and sodium-based hydrogels to sod-podzolic sandy loam soil. In addition, soil in all treatments received N₉₀P₉₀K₉₀. Indicators of soil biological activity were compared between the following: control soil, hydrogel introduced to a depth of 10–12 cm, and hydrogel introduced to a depth of 20–22 cm. Soil samples were then taken from the depths of 10–12 cm and 20–22 cm at the beginning and at the end of the growing season. Hydrogel applications to both soil layers created favorable conditions for the microbial activity. The chemical basis of the hydrogel did not affect activity of the microbial community.

Keywords: biological activity, basal respiration, microbial respiration, microbial biomass, hydrogel

Submitted: 05.08.2020

Accepted: 10.06.2021