

**Андрей Степанович Домас<sup>1</sup>, Наталья Валерьевна Шкуратова<sup>2</sup>,  
Егор Викторович Чипурных<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>канд. с.-х. наук, доц. каф. биологических и химических технологий  
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

<sup>2</sup>канд. биол. наук, доц. каф. биологических и химических технологий  
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

<sup>3</sup>студент 3-го курса факультета естествознания  
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина

**Andrei Domas<sup>1</sup>, Natalia Shkuratova<sup>2</sup>, Egor Chipurnykh<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies  
of Brest State A. S. Pushkin University

<sup>2</sup>Candidate of Biological Sciences,  
Associate Professor of the Department of Biological and Chemical Technologies  
of Brest State A. S. Pushkin University

<sup>3</sup>3-th Year Student of the Faculty of Natural Sciences of Brest State A. S. Pushkin University  
e-mail: <sup>1</sup>domasandrei@gmail.com; <sup>2</sup>schkuratova\_n@tut.by, <sup>3</sup>chi-riki@yandex.by

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗАСОЛЕННОЙ ПОЧВЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЧВЕННЫХ ДОБАВОК В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ\*

Представлены результаты лабораторных исследований возможности применения препаратов биологически активных веществ в качестве почвенных добавок для регулирования биологической активности почв в условиях засоления NaCl. Показано положительное влияние гуминового препарата «Оксидат торфа» и нецелесообразность использования биопрепарата на основе цеолита, обогащенного комплексом штаммов бактерий-почвоулучшителей «Profit».

**Ключевые слова:** почва, биологическая активность, почвенное дыхание, целлюлозолитическая способность, засоление, 24-эпибрассинолид, гуминовый препарат.

### *Biological Activity of Saline Soil when Using Soil Additives in Laboratory Conditions*

The results of laboratory studies of the possibility of using biologically active substances as soil additives to regulate the biological activity of soils under conditions of NaCl salinity are presented. The positive effect of the humic preparation «Peat oxidate» and the inexpediency of using a biological product based on zeolite enriched with a complex of strains of soil-improving bacteria «Profit» are shown.

**Key words:** soil, biological activity, soil respiration, cellulolytic ability, salinization, 24-epibrassinolide, humic preparation.

### **Введение**

Использование противогололедных смесей в умеренных широтах является обязательным компонентом обеспечения безопасности передвижения как автомобильного транспорта, так и пешеходов в зимний период. В связи с этим противогололедные смеси используют очень широко: на автомагистралях, тротуарах в жилых кварталах, в промышленных и даже в рекреационных зонах города. В свою очередь, активное применение противогололедных реагентов, в составе которых преобладают хлориды натрия и кальция, в условиях урбанизированных территорий является одним из факторов деградации городских почв.

Токсическое действие NaCl в почве проявляется в увеличении осмотического дав-

\*Работа выполнена в рамках НИР «Оценка гумусового состояния и биологической активности почв урбанизированных территорий с различной техногенной нагрузкой» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (номер государственной регистрации 20211453 от 20.05.2021).

ления почвенной влаги и снижении ее доступности не только растениям [1], но живым организмам, населяющим почву. Внесение в почву высоких доз NaCl также способно резко понижать показатели  $pH_{KCl}$  почвенного раствора, поскольку катионы  $Na^+$  вытесняют из почвенного поглощающего комплекса значительное количество  $H^+$ . Вследствие этого, как правило, на засоленных почвах биологические процессы протекают менее интенсивно, чем на незасоленных [2]. При этом микрофлора почв более устойчива к засолению, чем высшие растения [3]. Ввиду чувствительности биологических показателей почвы на внешние воздействия показано их применение для целей диагностики экологического состояния территорий [4–6].

Одним из интегральных показателей биологической активности почв является интенсивность почвенного дыхания, т. е. выделения  $CO_2$  и потребления кислорода почвой. Дыхание почвы можно назвать индикатором экосистемного метаболизма и запасов углерода в экосистеме. По интенсивности выделения  $CO_2$  можно судить о направленности изменения содержания органического вещества в почвах, соотношении процессов минерализации и гумификации органического вещества, функционировании почвенной биоты и как следствие, экологическом состоянии почвенного покрова [7; 8].

Универсальным показателем общей биологической активности почвы также служит численность и интенсивность деятельности целлюлозолитических микроорганизмов, свидетельствующие о темпах превращения растительных остатков в почве, что позволяет судить об уровне ее плодородия и биогенности. В присутствии токсических веществ в почве, как правило, отмечается замедление процесса разрушения целлюлозы [9, 10].

Негативное влияние засоления на население почв и растительный покров, а также длительность и сложность процесса рассоления почв обуславливает актуальность поиска путей мелиорации засоленных территорий.

### Материалы и методы

Для проведения опыта была использована дерновая заболоченная почва связнопесчаного гранулометрического состава. Для выявления эффективности применения почвенных добавок были использованы два варианта засоления почвы: с дозой NaCl 170 г/м<sup>2</sup> и 240 г/м<sup>2</sup>, что соответствует условиям борьбы с образованием гололеда толщиной 1 мм при диапазонах температур от 0 до –5 °C и от 6 до –10 °C согласно рекомендации, указанной в Приказе Комитета по автомобильным дорогам при Министерстве транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 20.11.2000 № 216 «Об утверждении руководящего документа».

В качестве почвенных добавок использовали гуминовый препарата «Оксидат торфа» (ОТ), стероидный препарата «Эпин-экстра» (ЭБ) и биопрепарат на основе цеолита, обогащенного комплексом микроорганизмов (*B. amyloliquefaciens*, *B. mojavensis*, *B. megaterium*, *P. brassicacearum*), «Profit мультибактериальный комплекс» (Pr). В опыте применяли растворы с различной дозировкой препарата: исходная, согласно инструкции производителя (1,0), более высокая (1,5) и более низкая (0,5). Подготовленные растворы приливали к почвенным навескам однократно в объеме 50 мл. В дальнейшем по мере необходимости почвенные образцы увлажнялись водопроводной отстоявшейся водой. В качестве контроля были использованы загрязненные NaCl почвы без применения мелиорантов ( $K_{170}$  и  $K_{240}$  соответственно), а также исходная почва без использования и загрязнения и мелиорантов (К).

Метод определения целлюлозолитической активности почв – аппликационный. Для выявления интенсивности минерализации органических веществ неотбеленную льняную ткань пришивали к полимерной пленке (10 × 5 см). Пленку стерилизовали спиртом, а ткань проглаживали утюгом. Ткань предварительно взвешивали. Подготов-

ленную льняную пластинку помещали в почвенный образец так, чтобы льняная пластинка была полностью покрыта почвой. Время экспозиции составило 30 дней. Интенсивности процесса разрушения целлюлозы оценивали по убыли в весе (%).

Для оценки биологической активности почв по интенсивности разрушения клетчатки использовали шкалу, предложенную Д. Г. Звягинцевым (процент разложившегося полотна за вегетационный сезон): очень слабая (< 10), слабая (10–30), средняя (30–50), сильная (50–80), очень сильная (> 80) [11].

В этих же образцах почвы, по окончании экспозиции, определялся показатель дыхания почвы. Интенсивность эмиссии углекислого газа из почвы устанавливали методом оценки поглощения  $\text{CO}_2$  раствором 0,1 н. КОН из герметично закрытой камеры, в которой находилась почвенная навеска. Остаток непрореагировавшей с  $\text{CO}_2$  щелочи оттитровывали 0,01 н. НСl. Параллельно закладывали холостой опыт без почвенной навески, для выяснения количества поглощенного  $\text{CO}_2$  из воздуха камеры. Количество поглощенного углекислого газа находили по формуле:

$$B = \frac{(A-B) \cdot 2,2}{m \cdot t \cdot 10},$$

где D – интенсивность дыхания, мг  $\text{CO}_2$  / кг·ч; A – объем НСl, затраченный на титрование холостой пробы, мл; B – объем НСl, затраченный на титрование щелочи в опыте, мл; m – масса навески, кг; t – время экспозиции, ч; 2,2 – количество  $\text{CO}_2$ , поглощаемое 1 мл 0,1 н. раствора щелочи, мг; 10 – коэффициент, учитывающий разность концентраций щелочи и кислоты.

Оценку биологической активности почв производили согласно шкале, разработанной А. В. Смагиным [12].

Повторность опытов – трехкратная. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием MS Excel.

### Результаты и их обсуждение

Целлюлозолитическая способность почвы в опыте в целом была невысокой, что возможно объяснить малой почвенной навеской. Так, даже в варианте без засоления (К) убыль массы льняной пластинки составила всего  $56,2 \pm 1,23$  %, что согласно шкале Д. Г. Звягинцева. При этом внесение в почву соли приводило лишь к незначительному ингибированию работы целлюлозолитического пула почвенных микроорганизмов, что в целом согласуется с выводами М. А. Ибраевой [3]. Увеличение дозы соли сопровождалось усилением ингибирующего эффекта. Так, если в варианте с дозой NaCl из расчета  $170 \text{ г/м}^2$  интенсивность разрушения целлюлозы была сопоставима со значениями в контроле, то при увеличении дозы NaCl до  $240 \text{ г/м}^2$  показатель убыли целлюлозы снижался на 8,6 % относительно варианта К (таблица).

Интенсивность дыхания контрольной почвы составила  $4,44 \text{ мг } \text{CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$ , что позволяет охарактеризовать ее как почву с нормальной биологической активностью, согласно шкале биологической активности, разработанной А. В. Смагиным. В результате засоления интенсивность дыхания существенно снижалась до очень низкой. Снижение составило 73,0 % и 69,5 % относительно контроля для вариантов  $K_{170}$  и  $K_{240}$  соответственно (таблица).

Таблица – Изменение биологической активности почвы в результате засоления

| Вариант опыта | ЦЛС<br>убыль массы, % | Дыхание почвы<br>мг $\text{CO}_2$ /кг·ч |
|---------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Контроль      | $56,23 \pm 1,23$      | $4,44 \pm 0,52$                         |
| $K_{170}$     | $56,07 \pm 0,83$      | $1,20 \pm 0,19^*$                       |
| $K_{240}$     | $51,38 \pm 2,64$      | $1,35 \pm 0,28^*$                       |

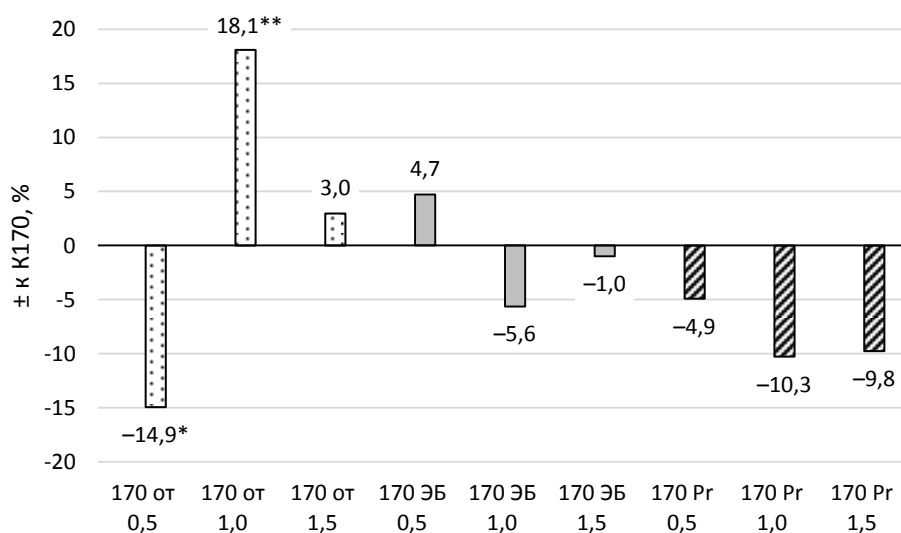
\* – достоверно при  $P \leq 0,05$ .

Биологическая активность почв в результате применения биологически активных веществ в качестве почвенных добавок в условиях загрязнения почвы солью зависела от конкретного почвенного мелиоранта и применяемой дозы.

Использование мультибактериального препарата оказало ингибирующее влияние на показатель разложения целлюлозы вне зависимости от дозы применяемого препарата и степени засоления почвенного образца (рисунок 1, 2). Наиболее положительный результат выявлен при внесении в засоленную почву самой низкой дозы биопрепарата ( $-4,91\%$  относительно  $K_{170}$ ). Более высокие дозы мультибактериального препарата оказывали и более выраженный ингибирующий эффект на деятельность целлюлозоразрушающих бактерий ( $-10,27\%$  и  $-9,76\%$  относительно  $K_{170}$  в вариантах  $170\text{ Pr}_{1,0}$  и  $170\text{ Pr}_{1,5}$  соответственно). При этом одним из заявляемых назначений данного препарата является ускорение разложения растительных остатков в почве.

Использование стероидного препарата сопровождалось неоднозначными результатами. В случае применения препарата «Эпин-экстра» в минимальной дозе отмечается стимулирование разложения целлюлозы в загрязненной почве ( $+4,72\%$  к  $K_{170}$ ), тогда как результат применения брассиностероида в варианте  $170\text{ ЭБ}_{1,0}$  уже был отрицательным ( $-5,63\%$ ). Более высокая доза стероидного препарата ( $\text{ЭБ}_{1,5}$ ) практически не оказывала влияния на интенсивность разложения органического вещества, а полученные значения были сопоставимы со значениями, достигнутыми в загрязненном контроле ( $K_{170}$ ).

Более выраженное, но тем не менее неоднозначное влияние выявлено и в результате применения гуминового препарата. Введение в почву гуминовых веществ в минимальной применяемой в опыте дозе ( $0,5$ ) оказало достоверный ( $P_{0,05}$ ) ингибирующий эффект на разложение целлюлозы ( $-17,94\%$ ). При этом увеличение дозы гуминового препарата в варианте  $170\text{ ОТ}_{1,0}$  уже сопровождалось достоверным стимулированием биологической активности  $+18,09\%$  ( $P_{0,01}$ ). Использование наиболее высокой дозы гуминового препарата также сопровождалось стимулированием процесса разложения целлюлозы в засоленной почве ( $+2,96\%$ ), однако достигнутое усиление активности почвы носило недостоверный характер.



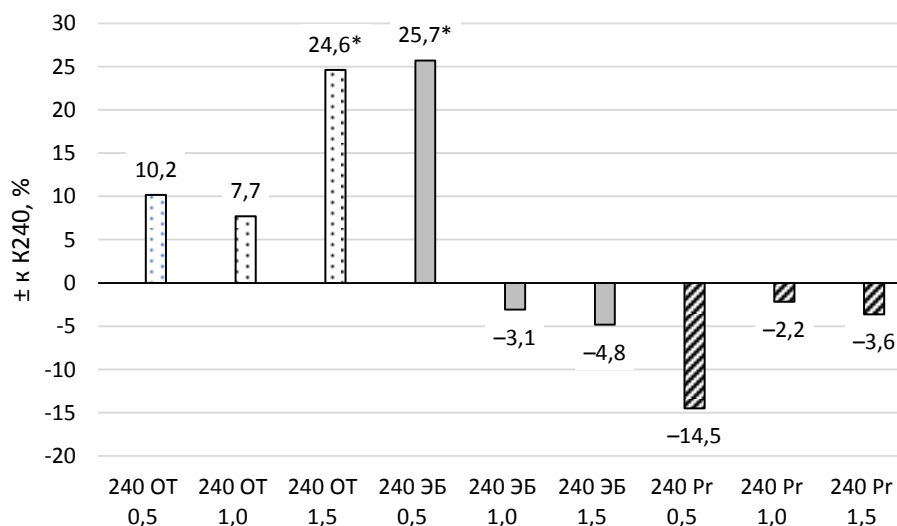
\* – достоверно при  $P \leq 0,05$ , \*\* – достоверно при  $P \leq 0,01$ .

**Рисунок 1 – Влияние почвенных добавок на целлюлозолитическую способность почв в условиях засоления ( $170\text{ г/м}^2$ )**

При усилении солевого стресса эффективность применения гуминовых веществ для стимулирования разложения целлюлозы в почве в целом возрастает. Положительный эффект отмечается уже с применения минимальной дозы препарата, где интенсивность разложения целлюлозы превышает таковую в варианте  $K_{240}$  более, чем на 10 % (рисунок 2). Тем не менее, выявленное различие со значениями контроля было не достоверным, как и в варианте 240 ОТ<sub>1,0</sub>. Достоверный результат получен лишь при использовании наиболее высокой дозы гуминового препарата, что сопровождалось самой высокой интенсивностью разложения льняной пластинки – +24,63 % ( $P_{0,05}$ ) к  $K_{240}$ . При этом полученный результат был на 13,87 % выше, даже чем в варианте без загрязнения.

Применение стероидного препарата также зависело от дозы биологически активного вещества в почве. Так, выраженный достоверный ( $P_{0,01}$ ) положительный эффект был достигнут при применении наименьшей дозы 24-эпибрассинолида (240 ЭБ<sub>0,5</sub>) – +25,68 % и был самым высоким среди всех вариантов опыта с засолением. Повышение дозы эпибрассинолида в почве сопровождалось снижением ее биологической активности до значений ниже уровня засоленного контроля. Таким образом, применение стероидного препарата в более высоких концентрациях является нецелесообразным при засолении почв.

Ввиду формирования ингибирующего эффекта на процесс разрушения целлюлозы в почве также нецелесообразным является и использование почвоулучшителя на основе комплекса микроорганизмов от компании «Profit». При этом наиболее сильное угнетение биологической активности отмечается при внесении минимальной используемой дозы биопрепарата – –14,49 % к  $K_{240}$ . Тем не менее указанное различие носило не достоверный характер. Повышение дозы препарата «Profit мультибактериальный комплекс» сопровождалось лишь незначительным снижением биологической активности почвы при ее засолении дозой NaCl 240 г/м<sup>2</sup>.



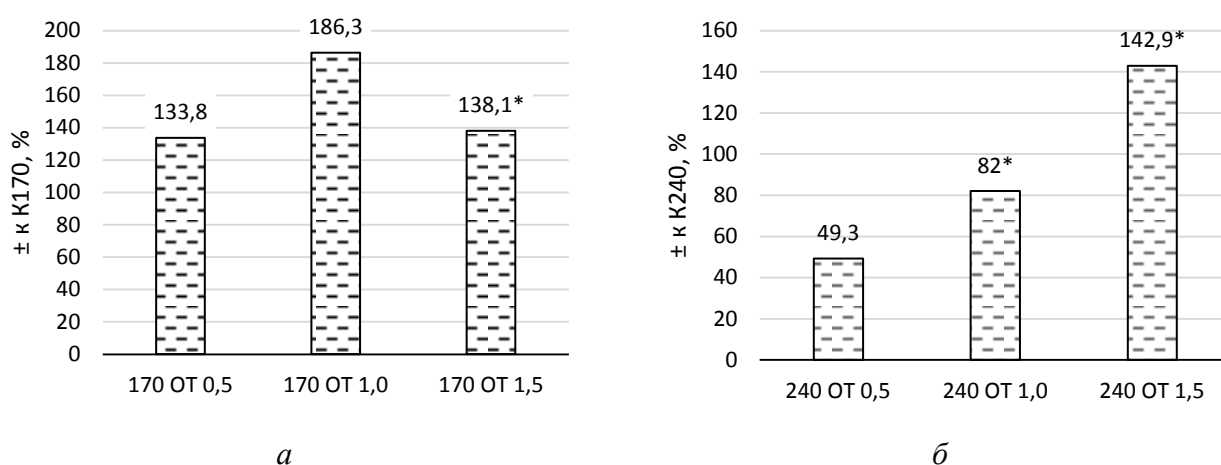
\* – достоверно при  $P \leq 0,05$ .

**Рисунок 2 – Влияние почвенных добавок на целлюлозолитическую способность почв в условиях засоления (240 г/м<sup>2</sup>)**

Применение исследуемых почвенных добавок в условиях засоления преимущественно сопровождалось положительным эффектом в отношении показателя интенсивности эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы. Так, гуминовый препарат в условиях засоления почвы из расчета 170 г NaCl на 1 м<sup>2</sup> повышал регистрируемый показатель с категории очень низкой до низкой биологической активности согласно шкале А. В. Смагина. При

этом в присутствии гуминовых веществ в почве в дозе  $OT_{0,5}$  показатель дыхания почвы достоверно возрастал на 133,8 % относительно  $K_{170}$  (рисунок 3а). Схожее значение было достигнуто и при использовании гуминового препарата в дозе  $OT_{1,5}$  – +138,1 %. Эффект от применения оксидата торфа в исходной концентрации приводил к еще более существенному росту интенсивности почвенного дыхания – +186,3 %. Тем не менее, в связи с тем, что засоление почвы в контрольном варианте приводило к ингибированию биологической активности на 73 % относительно чистого контроля, значения, полученные в результате применения гуминового препарата по отношению к варианту К, были по-прежнему очень низкими – –36,8 %, –22,6 %, –35,6 % для вариантов  $OT_{0,5}$ ,  $OT_{1,0}$ ,  $OT_{1,5}$  соответственно.

В условиях более интенсивного засоления применение гуминового препарата также было очень эффективно. Минимальный прирост биологической активности здесь отмечается уже в варианте с исходной дозой препарата  $OT_{0,5}$  – +49,3 % (рисунок 3б).

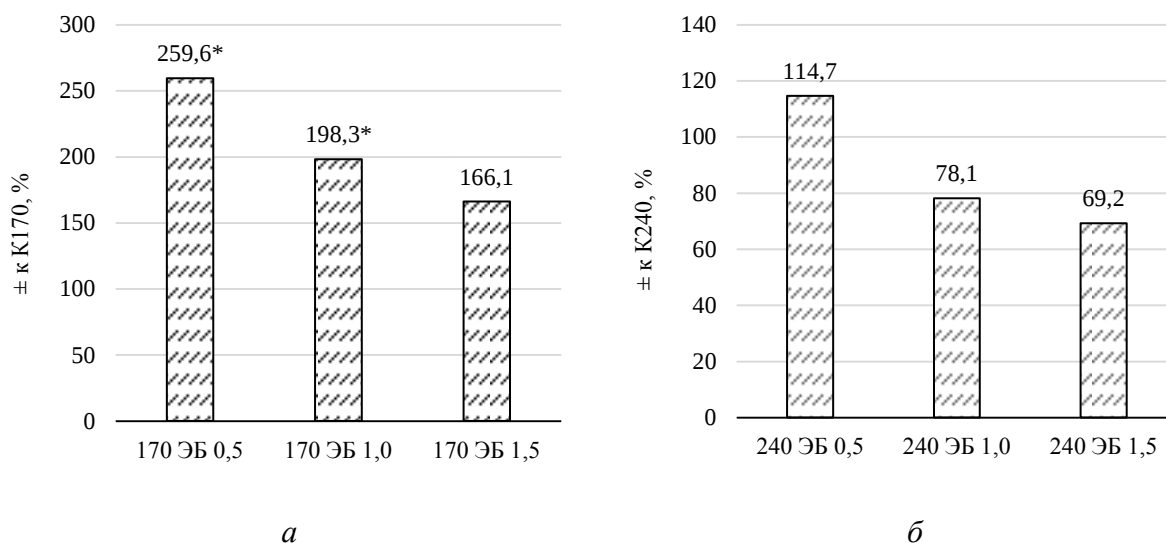


\* – достоверно при  $P \leq 0,05$ .

**Рисунок 3 – Изменение интенсивности дыхания почвы в условиях засоления (а – 170 г/м<sup>2</sup>, б – 240 г/м<sup>2</sup>) при внесении в почву гуминового препарата**

Еще более выраженное ремедиационное действие гуминового препарата отмечается при использовании оксидата торфа в дозе  $OT_{1,0}$  и  $OT_{1,5}$  – +82,0 % и +142,9 % соответственно. Однако, как и в вариантах с более слабым засолением, несмотря на выраженный положительный эффект гуминовых веществ, почва сохраняет значительную токсичность в отношении пула микроорганизмов, продуцирующих  $CO_2$ . Таким образом, биологическая активность относительно чистого контроля в результате применения гуминовых веществ составила – –54,5 %, –44,5 % и –25,9 % для вариантов  $OT_{0,5}$ ,  $OT_{1,0}$ ,  $OT_{1,5}$  соответственно.

В результате исследования было выявлено, что токсическое влияние засоления почв на их биологическую активность возможно снизить и использованием в качестве почвенной добавки биологически активного вещества стероидного происхождения – 24-эпибрассинолида (препарат «Эпин-экстра»). При засолении почвы NaCl в дозе 170 г/м<sup>2</sup> наиболее эффективным было использование стероидного препарата в дозе  $ЭБ_{0,5}$ . Усиление биологической активности в варианте 170  $ЭБ_{0,5}$  составило +259,6 % относительно  $K_{170}$  (рисунок 4а). Таким образом, интенсивность почвенного дыхания в данном варианте достигала 4,32 мг  $CO_2$  / кг·ч, что, согласно шкале А. В. Смагина, относится к градации нормальной биологической активности.



\* – достоверно при  $P \leq 0,05$ .

**Рисунок 4 – Изменение интенсивности дыхания почвы в условиях засоления (а – 170 г/м<sup>2</sup>, б – 240 г/м<sup>2</sup>) при внесении в почву стероидного препарата**

Следует отметить, что снижение интенсивности почвенного дыхания относительно чистого без токсикантов контроля составило всего  $-2,8\%$ . Таким образом, применение эпибрасинолида в дозе ЭБ<sub>0,5</sub> способствовало практически полному нивелированию негативного эффекта от засоления почвы (170 г/м<sup>2</sup>).

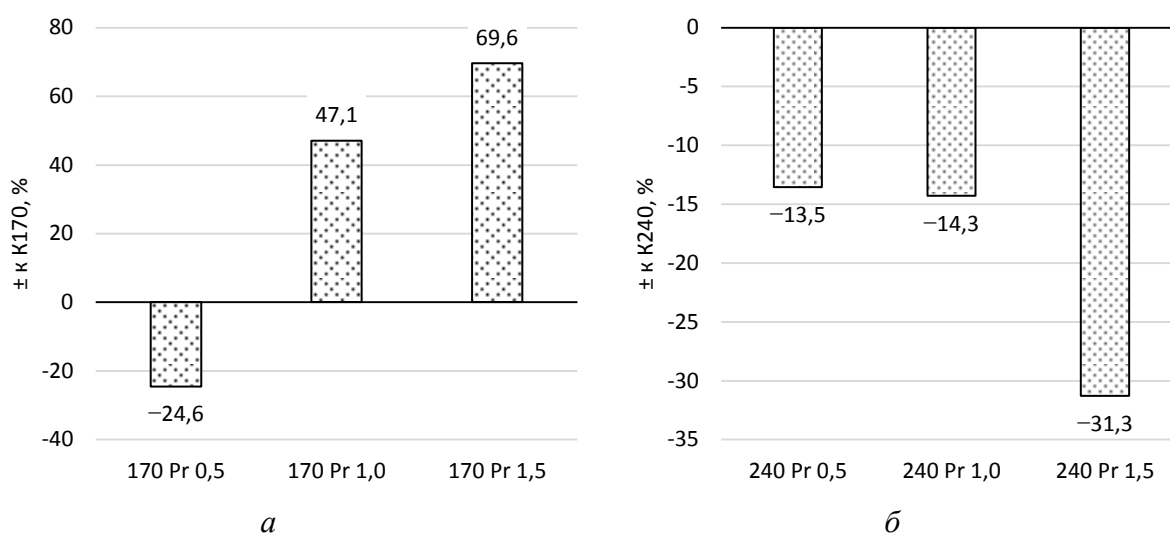
Увеличение дозы стероидного препарата сопровождалось прямолинейной обратной зависимостью с интенсивностью дыхания почвы, загрязненной NaCl. Так, повышение дозы ЭБ до исходной отзывалось повышением биологической активности с 1,20 до 3,58 мг CO<sub>2</sub> / кг·ч, т. е. на  $+198,3\%$ , тогда как в варианте 170 ЭБ<sub>1,5</sub> этот показатель составил уже  $+166,1\%$  (рисунок 4а). Биологическая активность указанных почв относилась к градации низкой.

Эффективность стероидного препарата в качестве почвенного мелиоранта в условиях более интенсивного засоления почвы была существенно ниже, чем при уровне засоления 170 г/м<sup>2</sup>, однако характер распределения значений интенсивности почвенного дыхания с ростом дозы препарата «Эпин-экстра» был аналогичен уровню засоления в 170 г/м<sup>2</sup> (рисунок 4б). Так, наиболее значительный ремедиационный эффект также был достигнут при минимальной дозе эпибрасинолида (ЭБ<sub>0,5</sub>) и составил  $+114,7\%$  относительно варианта K<sub>240</sub>, или 2,91 мг CO<sub>2</sub> / кг·ч, что относилось к градации низкой биологической активности. Относительно же чистой без токсикантов почвы этот показатель был ниже почти на  $35\%$ .

Увеличение дозы стероидного препарата оказывало менее выраженный протекторный эффект от засоления на почвенную микрофлору, однако тем не менее усиление интенсивности почвенного дыхания было существенным:  $+78,1\%$  и  $+69,2\%$  относительно K<sub>240</sub> соответственно, что в абсолютных значениях составило 2,41 и 2,29 мг CO<sub>2</sub> / кг·ч.

Таким образом, подтверждается снижение положительного эффекта от применения 24-эпибрасинолида в более высоких концентрациях. Следовательно, в условиях засоления целесообразно проводить ремедиацию почв путем внесения стероидного препарата «Эпин-экстра» в дозе 0,5 от исходной, что составляет  $0,75 \cdot 10^{-5}$  г 24-эпибрасинолида на 1 кг почвы.

Применение биопрепарата на основе комплекса бактерий отличалось неоднозначными результатами. Так, в условиях засоления почвы дозой соли из расчета  $170 \text{ г/м}^2$  выявлено усиление токсического эффекта на 24,6 % (рисунок 5а).



**Рисунок 5 – Изменение интенсивности дыхания почвы в условиях засоления (а –  $170 \text{ г/м}^2$ , б –  $240 \text{ г/м}^2$ ) при внесении в почву биопрепарата «Profit»**

Таким образом, показатель почвенного дыхания снижался до  $0,91 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$ , что относилось к градации «очень низкая», согласно шкале А. В. Смагина, и было самым низким значением среди всех вариантов в ходе опыта. При этом более высокие дозы препарата способствовали усилению интенсивности эмиссии углекислого газа из почвы относительно варианта  $K_{170}$ . Так, если в варианте  $170 \text{ Pr}_{1,0}$  показатель биологической активности составил  $1,77 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$ , что было выше, чем в загрязненном контроле на 47,1 %, то усиление интенсивности почвенного дыхания в варианте  $170 \text{ Pr}_{1,5}$  составило +69,6 %. Однако относительно уровня чистого контроля (К), по прежнему отмечается значительное ингибирование биологической активности загрязненной почвы: -60,2 % и -54,2 % соответственно. В ходе исследования было выявлено, что в условиях более сильного засоления почвы применение биопрепарата является нецелесообразным, поскольку воздействие препарата на почву сопровождалось усилением ингибирующего эффекта. При этом, в отличие от вариантов с загрязнением в  $170 \text{ г/м}^2$ , применение более высоких доз биопрепарата отзывалось снижением биологической активности (рисунок 5б). Наиболее же существенное снижение показателя дыхания почвы выявлено нами в варианте  $240 \text{ Pr}_{1,5}$  : -31,3 % ( $0,93 \text{ мг CO}_2 / \text{кг} \cdot \text{ч}$ ).

### Заключение

В ходе проведенной работы показано, что NaCl оказывает значительное токсическое действие на почвенный микробиом, что выражается в снижении показателя дыхания почвы. При этом выявлено, что пул целлюлозолитических микроорганизмов был устойчив к засолению.

Установлено, что применение гуминового препарата в дозе  $OT_{1,0-1,5}$  преимущественно способствует усилению биологической активности почв с различной степенью засоления.

Использование в качестве почвенной добавки стероидного препарата оказывало положительное влияние на показатель дыхания почвы, тогда как повышение целлюло-

золитической способности почв отмечается лишь в варианте с минимальной в опыте дозой ЭБ.

Применение биопрепарата «Profit» для повышения биологической активности почв в условиях засоления преимущественно нецелесообразно. Положительный эффект отмечается лишь для показателя дыхания почвы при применении наиболее высокой дозы препарата в варианте с минимальным засолением.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еремченко, О. З. Солевой обмен растений в условиях техногенного засоления / О. З. Еремченко, О. А. Лымарь, Н. В. Орлова // Вестник Пермского университета. Серия Биология. – 2005. – Вып. 6. – С.164–167.
2. Экзогенная регуляция минерального питания хвойных и лиственных пород в условиях засоления / Ж. М. Анисова [и др.] // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды : сб. мат. Годич. собр. Общ-ва физиологов раст. России, Всерос. науч. конф. с междунар. уч. и шк. мол. уч. (Иркутск, 10–15 июля 2018 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. – В 2-х частях. Часть II. – С. 1029–1033.
3. Ибраева, М. А. Влияние засоления почв на микробиологическую активность / М. А. Ибраева, Д. Е. Шаухарова, М. Джуманова // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2. – С. 71–78.
4. Latter, P. M. Cotton strip assay an index of decomposition in soils / P. M. Latter, A. F. Harrison, D. W. H. Walton. – Grange-Over-Sands : Institute of Terrestrial Ecology, 1988. – 170 p.
5. Xu, Y. Microbial functional diversity and carbon use feedback in soils as affected by heavy metals / Y. Xu [et al.] // Environment International. – 2019. – Vol. 125. – P. 478–488.
6. Терехова, В. А. Методология биодиагностики почв и особенности некоторых методов биоиндикации и биотестирования (обзор) / В. А. Терехина [и др.]. // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2023. – Т. 78, № 2. – С. 35–45.
7. Иващенко, К. В. Обилие и дыхательная активность микробного сообщества почвы при антропогенном преобразовании наземных экосистем: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03 Микробиология / К. В. Иващенко. – Пущино, 2017. – 205 с.
8. Doran, J. W. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality / J. W. Doran, M. R. Zeiss // Applied Soil Ecology. – 2000. – V. 15. – P. 6–17.
9. Фомина, Н. В. Анализ изменения целлюлозоразрушающей способности антропогенно загрязненной почвы / Н. В. Фомина // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 7. – С. 101–107.
10. Семенова, И. Н. Биологическая активность как индикатор техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.13 / И. Н. Семенова. – Уфа, 2013. – 330 с.
11. Звягинцев, Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
12. Смагин, А. В. Газовая фаза почв / А. В. Смагин. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.

#### REFERENCES

1. Eremchenko, O. Z. Solevoj obmen rastenij v usloviyah tekhnogenного zasoleniya / O. Z. Eremchenko, O. A. Ly-mar', N. V. Orlova // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya. – 2005. – Vyp. 6. – S.164–167.

2. Ekzogennaya regulyaciya mineral'nogo pitaniya hvojnyh i listvennyh porod v usloviyah zasoleniya / Zh. M. Anisova [i dr.] // Mekhanizmy ustojchivosti rastenij i mikroorganizmov k neblagopriyatnym usloviyam sredy : sb. mat. Godich. sobr. Obshch-va fiziologov rast. Rossii, Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uch. i shk. mol. uch. (Irkutsk, 10–15 iyulya 2018 g.). – Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2018. – V 2-h chastyah. Chast' II. – S. 1029–1033.

3. Ibraeva, M. A. Vliyanie zasoleniya pochv na mikrobiologicheskuyu aktivnost' / M. A. Ibraeva, D. E. Shauharova, M. Dzhumanova // Pochvovedenie i agrohimiya. – 2020. – № 2. – S. 71–78.

4. Latter, P. M. Cotton strip assay an index of decomposition in soils / P. M. Latter, A. F. Harrison, D. W. H. Walton. – Grange-Over-Sands : Institute of Terrestrial Ecology, 1988. – 170 p.

5. Xu, Y. Microbial functional diversity and carbon use feedback in soils as affected by heavy metals / Y. Xu [et al.] // Environment International. – 2019. – Vol. 125. – P. 478–488.

6. Terekhova, V. A. Metodologiya biodiagnostiki pochv i osobennosti nekotoryh metodov bioindikacii i biotestirovaniya (obzor) / V. A. Terekhina [i dr.]. // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie. – 2023. – T. 78, № 2. – S. 35–45.

7. Ivashchenko, K. V. Obilie i dyhatel'naya aktivnost' mikrobnogo soobshchestva pochvy pri antropogennom preobrazovanii nazemnyh ekosistem: dis. ... kand. biol. nauk: 03.02.03 Mikrobiologiya / K. V. Ivashchenko. – Pushchino, 2017. – 205 s.

8. Doran, J. W. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality / J. W. Doran, M. R. Zeiss // Applied Soil Ecology. – 2000. – V. 15. – P. 6–17.

9. Fomina, N. V. Analiz izmeneniya cellyulozorazrushayushchej sposobnosti antropogenno zagryaznennoj pochvy / N. V. Fomina // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 7. – S. 101–107.

10. Semenova, I. N. Biologicheskaya aktivnost' kak indikator tekhnogennogo zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami: dis. ... d-ra. biol. nauk: 03.02.13 / I. N. Semenova. – Ufa, 2013. – 330 s.

11. Zvyaginцев, D. G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya ocenki nekotoryh ee pokazatelej / D. G. Zvyaginцев // Pochvovedenie. – 1978. – № 6. – S. 48–54.

12. Smagin, A. V. Gazovaya faza pochv / A. V. Smagin. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 301 s.

*Рукапіс наступіў у рэдакцыю 11.03.2025*