

УДК 581.93:502.72(292.471)

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ВЫДЕЛЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА («ДЫХАНИЕ ПОЧВ») В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КРЫМА

Славинская А. В.<sup>1,2</sup>, Кобечинская В. Г.<sup>1</sup>, Иваишов А. В.<sup>1</sup>, Гритчин М. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,  
Республика Крым, Россия*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: alina.slav.98@mail.ru*

Выполнено исследование по выявлению интенсивности почвенного «дыхания» на площадях с разным уровнем антропогенного воздействия. Установлено, что почвенное «дыхание» сильно зависит от температуры и водообеспеченности. Наиболее высокие показатели отмечаются в весенний период на целинных землях, на них же отмечаются самые низкие показатели в зимний период. В сезонной динамике большее выделение углекислоты совпадает с интенсивностью биологических процессов, протекающих в почве. Выявлено, что ферментативная активность и почвенное «дыхание» имеют сопряженную динамику и тесно связаны с сезонами года.

**Ключевые слова:** «дыхание» почвы, углекислый газ, динамика, микробиота, предгорный Крым.

### ВВЕДЕНИЕ

Газообмен между почвой и атмосферой называют «дыханием» почвы. Этому обмену способствуют: а) диффузия газов, зависящая от разницы состава почвенного и надпочвенного воздуха и возрастающая с увеличением этой разницы; б) колебание температуры и барометрическое давление (его снижение активизирует удаление воздуха из почвы); в) ветровые потоки, усиливающие испарение воды и освобождающие место для воздуха в почве; г) просачивание воды в глубинные горизонты, тем самым вытесняя почвенный воздух из капилляров; д) состав растительного покрова, сформированный на конкретной территории. Также количество продуцируемого углекислого газа зависит от численности микроорганизмов в почве и интенсивности их обменных процессов [1]. То, насколько активно происходит выделение из почвы углекислого газа, говорит о минерализационной активности почвенных микроорганизмов [2].

Почвенное «дыхание» является основным путем выхода углерода (С) из наземных экосистем и играет центральную роль в глобальных углеродных циклах, потому что почва – это самый большой углеродный пул в наземных экосистемах. Поэтому даже небольшое изменение объемов, может оказать сильное влияние на концентрацию атмосферного CO<sub>2</sub>. Важно понимать и уметь предсказывать, как «дыхание» почвы реагирует на изменения окружающей среды и климата, особенно

на региональном уровне. Вышеуказанная проблематика обусловила выбор темы исследования и ее актуальность.

Известно, что «дыхание» почвы сильно меняется во времени и пространстве. В региональном масштабе, закономерности биогеохимического круговорота различных типов экосистем регулируются, по крайней мере, пятью независимыми управляющими или так называемыми факторами состояния: климатом, исходным материалом, топографией, биотой и временем. Следовательно, факторы, тесно связанные с «дыханием» почвы внутри экосистемы и между экосистемами, не идентичны. Как и большинство первичных биологических реакций, «дыхание» почвы сильно зависит от температуры и благоприятной водообеспеченности [3] и, следовательно, от сезонности, причем, максимальная частота дыхания наблюдается в периоды более высоких температур и промежуточной влажности почвы [4]. Известно, что растительный покров и его состав сильно влияют на «дыхание» почвы, чем интенсивнее биологические процессы в почве, тем более выделяется углекислота, а это, в свою очередь, отражает биологическую активность почв [5]. Многие исследователи отмечают положительные корреляции с биомассой корней, надземной продуктивностью и видовым богатством [6, 7].

Задачами данной работы было провести химический анализ почвенных проб, выявить интенсивность и объемы выделения углекислого газа на четырех пробных площадях с разным уровнем антропогенного воздействия на них. Также установить сезонную зависимость между почвенным «дыханием» в течение года и ферментативной активностью почв, которые обсуждались в нашей предыдущей работе [8].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были взяты старовозрастные лесополосы разных пород: участок № 1 – хвойной и участок № 2 – лиственной, сельхозугодия – № 3 (пашня, с произрастающей здесь озимой пшеницей) и как контрольный – участок № 4 с ненарушенным почвенным профилем (слабо косимая целинная степь) [8] (рис. 1).



Рис. 1. Места взятия почвенных проб [8].

Благодаря тому, что пробы с учетных площадей брались в сезонной динамике, это позволило проследить переменные параметры «дыхания» почвы. Образцы отбирались в трехкратной повторности. Площадки располагались в предгорной части полуострова в 7–8 км к северо-востоку от г. Симферополь (табл. 1).

Таблица 1

**Общая характеристика пробных площадей с размерами**

№ п/п	Пробная площадь	Размеры
1	Хвойная лесополоса из сосны крымской	1,24 га
2	Лиственная лесополоса из гледичии	2,2 га
3	Пашня (озимая пшеница)	49,4 га
4	Целинная степь (слабо косимая)	13,0 га

Высота месторасположения пробных участков – около 180–190 м над уровнем моря. Гледичиевая лесополоса – № 2 расположена поперек нижней части склона, разграничивая поле озимой пшеницы – № 3 от косимой целинной степи. Сосновая лесополоса – № 1 простирается вдоль склона, соприкасаясь с гледичиевой полосой в её срединной части. Отбор проб производился осенью – в ноябре, зимой – в феврале, весной – в апреле, летом – в июле и осенью – в ноябре. Пробы отбирались с разной глубины почвенного разреза – горизонт А – 0–10 см и горизонт В – 10–20 см со всех участков [9].

Для определения показателя «дыхания» почвы, мы воспользовались модификацией методики Б. Н. Макарова [10].

Отбор и подготовку к анализам почвенных образцов осуществляли по общепринятым методикам в лаборатории [9]. При химических исследованиях почвы определялись следующие показатели: гумус по методу Тюрина, состав обменных катионов, кислотность, количество доступных для растения форм основных элементов питания (азота, фосфора, кальция, магния). Определение активной кислотности (рН) водяной вытяжки производилось по методу Н. И. Алямовского. Определение общей щелочности оценивалось по  $\text{HCO}_3$  в мг/экв, ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – с помощью трилона Б. Перечисленные анализы дают возможность установить тип и разновидности почв, дать им агропроизводственную оценку. Все полученные показатели в работе рассчитаны с оценкой достоверности на  $P_{0,95}$  уровне значимости [11].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Прежде чем обсудить особенности почвенного «дыхания» в сезонном аспекте, сначала рассмотрим химические характеристики почв 3 пробных площадей, объединив пробы для двух лесополос (уч. № 1 и № 2) из-за близости их размещения и практически полной схожести анализируемых почвенных характеристик (табл. 2).

**Таблица 2**

**Химические показатели почв пробных площадей в предгорной зоне Крыма  
(мг/100 г почвы)**

№	pH	Гумус, %	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup> мг/экв	HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> мг/экв	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>
1	7,85	3,84	0,25	0,70	22,2	5,3	85,4	16	2,43	3,4
3	7,78	4,17	0,22	0,71	30,8	5,3	76,25	19	2,22	3,4
4	7,83	3,80	0,25	0,48	20,0	5,3	73,20	18	2,82	3,4

Диапазон pH от 7,78 до 7,85 мг/г всех трех участков свидетельствует, что эти почвы слабощелочные. Содержание гумуса на всех пробных участках достаточно высокое. В сосновой лесополосе и целинной степи эти параметры близки – 3,84 % и 3,80 % соответственно, но больше всего гумуса выявлено на участке № 3 (пашня) – 4,17 %.

Величина подвижного фосфора наиболее низкая на ненарушенном участке № 4 (0,48 мг/г), что закономерно. Подстилающие породы для этого района исследований – известняки, а они почти не изменяют общего запаса фосфора в почве, но значительно повышают его подвижность и усвояемость для растений при слабощелочной среде почвенного раствора. Повышение pH в сторону щелочности уменьшает активность полуторных окислов, ослабевают адсорбционные свойства фосфора и увеличивается относительное количество фосфатов кальция в почве, что делает его более доступным для произрастающих здесь степных растений [12, 13]. На участках № 1 и № 3 повышенное содержание фосфора связано с внесением фосфорных удобрений в пашню и попадание за счет смыва по склону их в лесополосу, поэтому эти показатели мало отличались друг от друга 0,70 и 0,71 мг/г соответственно. С глубиной валовое содержание фосфора в черноземах падает, т.к. происходит его биологическая аккумуляция корнями выращиваемых здесь зерновых. Значительная часть фосфора также входит в состав гуминовых кислот и фульвокислот. Поэтому, чем больше содержание в почвах гумуса, тем выше, как правило, значение в них органических фосфатов. По данным Д. С. Орлова [12] наиболее интенсивно поглощают фосфаты минеральные горизонты почвы и карбонаты подстилающих пород, существенно снижая сорбционную способность почв по отношению к фосфатам, особенно после удаления или частичного разрушения гумусового горизонта.

Органические соединения азота вне живых организмов неустойчивы и быстро разлагаются, но в форме гуминовых веществ почв они приобретают высокую устойчивость и доступность для растений. Содержание нитратного азота на всех трех участках относительно низко – 0,22–0,25 мг/г, т. к. он в первую очередь легко вымывается из почвенного профиля, но на пашне его величины самые низкие. На целинных черноземах, под естественной степной растительностью, количество нитратов обычно мало, т. к. растения сразу используют нитраты, появляющиеся в результате нитрификации [14]. Поэтому, в балансе доступного растениям нитратного азота наблюдается преобладание расходной части (денитрификация) над приходной (нитрификация), это особенно заметно на пашне. Возможно, по этой же

причине можно объяснить закрепление нитратов в телах микроорганизмов, разлагающих растительные остатки, которыми богата пашня при рыхлении почвы, повышающая аэрацию обрабатываемых слоев.

Валовое содержание калия в исследуемых почвах пробных площадей велико по сравнению с азотом и фосфором (табл. 2). По современным представлениям [15–17 и др.] все формы почвенного калия участвуют в питании растений, но в различной степени. Калий почвенного раствора легко доступен для растений, но его содержание здесь незначительно и весьма непостоянно. Основным источником калия для растений является его поглощенная форма. Именно она характеризует плодородие почвы в отношении этого элемента [18]. В предгорной зоне Крыма преобладают тяжелосуглинистые фракции, которые имеют большую емкость поглощения катионов, поэтому они лучше обеспечены калием, чем легкие песчаные почвы [19]. Следует также отметить, что рельеф ландшафта, где расположены пробные участки, тоже оказывает влияние на распределение калия. Почвы верхних элементов рельефа обедняются калием, а соответственно развитые в пониженных элементах обогащаются водорастворимыми соединениями калия. Пробные участки расположены по склону и перераспределение этого элемента по участкам совершенно закономерно. Содержание обменного калия наиболее значимо на участке № 3 (30,8 мг/г), что является диагностическим признаком их окультуренности [20].

Обменные Са и Mg представляют в большинстве почв основную массу обменных катионов почвенного раствора, их концентрация находится в подвижном равновесии с поглощенными Са и Mg и их карбонатами. Потребность растений в данных элементах минерального питания значительно ниже, чем калия [11, 12]. Соли магния, как более растворимые, в большем количестве вымываются из почв с осадками и накапливаются в воде, поэтому закономерно их более низкое содержание в почвенных пробах [13, 14]. Следовательно, можно считать, что эти катионы находятся в почвах в количествах вполне достаточных для питания растений, что подтверждают и наши исследования. Диапазон колебаний обменных Са (16–19 мг/100 г почвы) и Mg (2,43–2,82 мг/100 г почвы) по участкам достаточно близки, несколько снижаясь по магнию на пашне (2,22 мг/100 г почвы) с учетом рельефа местности.

Почвы предгорной зоны не солонцеватые, т. к. они содержат обменный  $\text{Na}^+$  (3,4 %) ниже 5 % от емкости поглощения, поэтому его величина не сказывается отрицательно на свойствах почв [19, 21].

Между жидкой и твердой фазами почвы постоянно существует динамическое адсорбционное равновесие, что делает состав и концентрацию почвенного раствора весьма подвижными. На незасоленных почвах (как на наших пробных площадях) концентрация почвенного раствора невелика и одним из важнейших анионов этого раствора является:  $\text{HCO}_3^{-2}$ . Именно этот анион, вместе с анионом  $\text{NO}_3^-$ , составляют на незасоленных почвах основную массу их почвенного раствора (до 90 % и более) [12]. Этот показатель сильно варьирует в зависимости от интенсивности процессов окисления органического вещества и образования углекислоты (жизнедеятельность микроорганизмов, дыхание корневой системы растений), поэтому наиболее

значимые из таблицы 1 именно эти показатели. При обилии органического опада в лесополосах (уч. № 1 и № 2) эта величина достигает 85,4 мг/экв.  $\text{HCO}_3^{-2}$ , заметно снижаясь по остальным участкам (73,2–76,25 мг/экв.  $\text{HCO}_3^{-2}$ ). Следовательно, можно считать, что в период интенсивного образования углекислого газа в почве усиливается мобилизация питательных веществ для растений, т. к. растворы углекислоты производят растворяющее действие на ряд труднорастворимых соединений: карбонаты переходят в бикарбонаты, резко увеличивается растворимость фосфатов и пр.

Большое значение в жизни почвы имеют реакции окисления и восстановления, в основном связанные с жизнедеятельностью почвенных организмов и вырабатываемых ими ферментов. Переувлажнение, ухудшение аэрации, уплотнение почв приводит к изменению их окислительно-восстановительного потенциала, также оказывают сильное влияние на этот процесс колебания температуры и влажности по сезонам года.

Показатель «дыхания» почв на разных пробных площадках, с учетом антропогенного воздействия на них, в сезонной динамике существенно отличается (табл. 3). Чем интенсивнее биологические процессы, тем больше почва выделяет углекислоты.

В природных условиях, количество образующейся в почве углекислоты – это динамическая характеристика, которая значительно колеблется в течение года, что подтверждают данные таблицы 3. В целинной степи весной (участок № 4) в горизонте Б эти показатели наивысшие  $1,58 \pm 0,11 \text{ CO}_2/100 \text{ г почвы в сутки}$ , т. к. именно это – зона размещения основной массы корней травостоя и они существенно снижаются на пашне (уч. № 3).

**Таблица 3**

**Изменение интенсивности «дыхания» почвы (мг  $\text{CO}_2/100 \text{ г почвы в сутки}$ ) за 2020-2021 гг.**

№ участка/ горизонт	Сезон			
	Зима	Весна	Лето	Осень
1А	0,52±0,01	1,21±0,14	0,72±0,08	1,04±0,07
2А	0,49±0,02	1,47±0,05	0,70±0,11	1,06±0,05
2Б	0,42±0,06	1,34±0,21	0,81±0,01	1,03±0,03
3А	0,70±0,03	1,42±0,03	0,85±0,05	1,00±0,03
4А	0,47±0,02	1,53±0,06	0,89±0,06	0,89±0,05
4Б	0,31±0,02	1,58±0,11	0,73±0,03	0,94±0,02

Выявленная сезонная динамика выделения из почв углекислого газа за счет окислительных процессов, хорошо иллюстрирует рисунок 2, отражающий как объемы выделения в каждый временной отрезок года, так и общие годовичные тенденции.

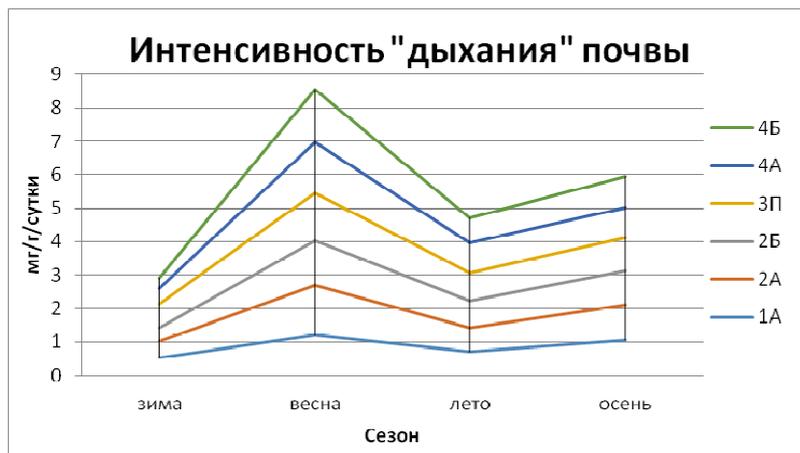


Рис. 2. Сезонная динамика выделения  $\text{CO}_2$  в почвах на пробных площадях в предгорном Крыму (2020–2021 гг.).

Так, зимой показатели «дыхания» почвы на разных участках наиболее низкие и колеблются от 0,31 мг/г до 0,52 мг/г. На одном лишь уч. 3 (пашня), они заметно превышают эти значения – 0,70 мг/г, т. к. зима была малоснежная, а сложившийся режим увлажнения и практически отсутствие низких температур, активизировали работу микроорганизмов. Весной наблюдался стремительный скачек показателей, что связано с изменением температурного, погодного и водного режимов. На всех участках показатель дыхания возрос в среднем в 3 раза, на уч. 4 в почвенном горизонте Б отмечается высшая граница значений – 1,58 мг/г. Лето в предгорной зоне в период наших исследований было очень засушливое с высокими температурами (более 27–37 °С) и редкими незначительными осадками (в августе их вообще не было), поэтому влагообеспеченность почв была крайне низкой, что способствовало резкому замедлению окислительно-восстановительных процессов и микробиологической активности. Осенью четко выявляется второй пик этих величин, но они не опускаются ниже 0,89 мг/г (уч. 4). На нем (целинная степь) также отмечены самые большие значения – 1,06 мг/г, что вполне закономерно, т. к. подстилка конденсирует влагу воздуха и создает более благоприятные условия для окисления микроорганизмами мертвой органики. Углекислота является важным фактором химического выветривания, оказывая растворяющее действие на труднорастворимые соединения: карбонаты переходят в бикарбонаты, увеличивается растворимость фосфатов. Поэтому в осенний период усиливается мобилизация питательных веществ, т. е. переход их в доступное для растений состояние.

Сопоставив показатели в сезонной динамике аккумуляции почвенных ферментов [8] и выделения углекислого газа из почв, нами была выявлена интересная закономерность.

Изученные ферменты: каталаза, пероксида и полифенолоксидаза имеют сопряженную динамику с почвенным «дыханием». Так, по данным наших исследований самые высокие показатели ферментативной активности выявлены по

пероксидазе в осенний период (75,04 мг/г), достаточно высоки величины и каталазы, но по почвенному «дыханию» четко прослеживается плавное снижение данного показателя. В летний период из-за высоких температур и дефицита влаги «дыхание» почв достаточно низко, а величины накопления данных ферментов выявляют наиболее значительные показатели (полифенолоксидаза – 10,6 мг/г и каталаза – 8,47 мг/г), кроме полифенолоксидазы.

Эта сезонная динамика способствует накоплению ферментов в почве в осенний и зимний период и активизации их деятельности в весенний период, когда растениям наиболее потребны для роста и развития органические вещества, микро- и макроэлементы и резко возрастает активность микроорганизмов при благоприятных температурных и водных условиях. Причем наиболее четко эта отмеченная закономерность прослеживается в целинной степи (уч. № 4) и под пологом лесополос (уч. № 1 и № 2). На пашне, из-за сильного нагрева почвы, незащищенной растительным покровом (особенно после уборки урожая), идет более интенсивная потеря влаги из верхних горизонтов, внесения удобрений и пр., поэтому процессы как почвенного «дыхания», так и активность образования ферментов снижаются и падают до минимума в зимний период.

Эти годовичные данные можно рассматривать как предварительные для углубленных многолетних исследований, которые позволят выявить более четкие закономерности между данными характеристиками почвенного покрова.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Установлено, что агрохимические характеристики почв оказывают влияние на уровень их биологической активности. Плодородие почв определяют такие показатели как: содержание в ней азота, обменного калия, подвижного фосфора. Поэтому в балансе доступного растениям нитратного азота наблюдается преобладание расходной части (потребление) над приходной (нитрификация).
2. Четко выявляется в предгорной зоне Крыма два пика активности почвенного «дыхания»: весенний и осенний с депрессивными показателями в летний и зимний сезоны. Углекислота является важным фактором химического выветривания, способствуя преобразованию труднорастворимых соединений: карбонаты переходят в бикарбонаты, увеличивается растворимость фосфатов. Поэтому в весенний период усиливается мобилизация питательных веществ, т. е. переход их в доступное для растений состояние. Лето в предгорной зоне влагообеспеченность почв крайне недостаточна, что способствует замедлению окислительно-восстановительных процессов и микробиологической активности.
3. Изученные ферменты: каталаза, пероксида и полифенолоксидаза имеют сопряженную динамику с почвенным «дыханием». Самые высокие показатели ферментативной активности выявлены по пероксидазе в осенний период (75,04 мг/г), достаточно высоки величины и каталазы, но по почвенному «дыханию», четко прослеживается плавное снижение данного показателя. В летний период из-за высоких температур и дефицита влаги «дыхание» почв достаточно низко, а величины накопления данных ферментов выявляют

наиболее значительные показатели (полифенолоксидаза – 10,6 мл/г и каталаза – 8,47 мг/г), кроме пероксидазы. Эта сезонная динамика способствует накоплению ферментов в почве в осенний и зимний периоды и, активизации их деятельности в весенний период, когда растениям наиболее потребны для роста и развития органические вещества, микро- и макроэлементы. Так, резко возрастает активность микроорганизмов при благоприятных температурных и водных условиях.

### Список литературы

1. Роль беспозвоночных животных в формировании состава почвенного воздуха // Роль организмов в газообмене почв / под ред. Б. Г. Розанова. – М. : МГУ, 1986. – С. 27–40.
2. Голядкина И. В. Оценка влияния полиакриламида на показатели биологической активности почвы / И. В. Голядкина, Я. В. Панков // Лесотехнический журнал. – 2013. – Т. 12, №4. – С. 16–19.
3. Raich J. W. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls / J. W. Raich, A. Tufekcioglu // Biogeochemistry. – 2000. – Vol. 1, № 48. – P. 71–90.
4. Atarashi–Andoh M. Seasonal patterns and control factors of CO<sub>2</sub> effluxes from surface litter, soil organic carbon, and root-derived carbon estimated using radiocarbon signatures / M. Atarashi–Andoh, J. Koarashi, S. Ishizuka [et al.] // Agr Forest Meteorol. – 2012. – № 152. – P. 149–158.
5. Raich J. W. The global carbon–dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate / J. W. Raich, W. H. Schlesinger // Tellus. – 1992. – Vol. 2, № 44. –P. 81–99.
6. Степанов А. Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах / А. Л. Степанов. – М. : ГЕОС, 2011. – 192 с.
7. Rastogi M. Emission of carbon dioxide from soil / M. Rastogi, S. Singh, H. Pathak // Current Science. – 2002. – Vol. 82(5). – P. 510–517.
8. Славинская А. В. Ферментативная активность почв с учетом сезонной динамики в предгорной зоне Крыма / А. В. Славинская, А. В. Ивашов, В. Г. Кобечинская, В. М. Громенко, А. И. Якубовская, И. А. Каменева, М. В. Гритчин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2021. – Т. 7 (73), № 1. – С. 169–179.
9. Александрова П. Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / П. Н. Александрова, О. И. Найденева. – М.: Колос, 1974. – 280 с.
10. Макаров Б. Н. Упрощенный метод определения дыхания почвы и биологической активности / Б. Н. Макаров // Почвоведение. – 1957. – № 9. – С. 119–122.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия. / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.
12. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М : МГУ, 1992. – 400 с.
13. Durand G. Contribution al etude de la biologie du sol / G. Durand – Sur le catabolisme des acides nucleiques et de leurs derives : These doct. sci. Toulouse, 1966. – 233 p.
14. Rotini O. T. La prenzenc e l attivita delle pirofosfatasi in alcuni substrati organici e nei terreno / O. T. Rotini // Atti Soc. Ital. progr. Sci. – 1933. – Vol. 11. – P. 3–11.
15. Dalai R. C. Effect of toluene on the energy barriers in urease activity of soils / R. C. Dalai // Soil Sciens. – 1975. – Vol. 120, № 4. – P. 256–260.
16. Roberge M. R. Factors affecting urease activity in a black spruce humus sterilized by gamma radiation / M. Roberge, R. Knowles // Canad. J. Soil Sci. – 1968. – Vol. 48, № 3. – P. 355–361.
17. Почвоведение с основами геологии: учеб. пособие / А. И. Горбылева [и др.] – Минск : Новое знание, 2002. – 480 с.
18. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма / Н. А. Драган – Симферополь : Доля, 2004. – 208 с.
19. Ambroz Z. K poznani cellulazoveho komplexu v pudach / Z. Ambroz // Rostl. Vyroba. – 1973. – Vol. 19, № 2. – P. 207–212.
20. Добровольский Г. В. Экология почв. Учение об экологических функция почв Учебник / Г. В. Добровольский, Е. Н. Никитин. – М. : МГУ, 2012. – 412 с.
21. Хазиев Ф. Х. Почва и биоразнообразии / Ф. Х. Хазиев // Экология. – 2011. – № 3. – С. 184–190.

**SEASONAL DYNAMICS OF CARBON DIOXIDE EMISSION ("SOIL RESPIRATION") IN THE POOTHONNE ZONE OF THE CRIMEA**

*Slavinskaya A. V.<sup>1,2</sup>, Kobechinskaya V. G.<sup>1</sup>, Ivashov A. V.<sup>1</sup>, Gritchyn M. V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Crimea Federal University V. I. Vernadsky, Simferopol, Crimea, Russia*

<sup>2</sup>*FSBSI «Research Institute of Agriculture of Crimea» Simferopol*

*E-mail: alina.slav.98@mail.ru*

Soil is the greatest carbon pool in terrestrial ecosystems, which is why it plays a key role in carbon cycles, while soil "respiration" is the main way to release carbon from these ecosystems. Both the gas exchange between the soil and the atmosphere and the formation of carbon dioxide in the soil depend on many factors. It is important to understand and understand the essence of these processes, because small fluctuations in the volume of produced soil carbon dioxide can have an impact on the environment around us.

The objectives of this work were to conduct a chemical analysis of soil samples, to pick up the intensity and volume of carbon dioxide emission in four sample plots with different levels of anthropogenic impact on them. In addition, a seasonal relationship between soil "respiration" during the year and the enzymatic activity of soils need to be established.

As objects of research, 4 experimental sites were taken: № 1 – coniferous forest belt, № 2 – deciduous forest belt, № 3 – field, and as a control – site № 4 – virgin steppe. Samples were taken in triplicate. The sites were located in the foothill part of the peninsula, 7–8 km north-east of the city of Simferopol. The height of the location of the test plots is about 180–190 m above sea level. Sampling was carried out in the fall – November, in the winter – in February, in the spring – in April, in the summer – in July and in the fall – in November. Samples were taken from different depths of the soil section – horizon A – 0–10 cm and horizon B – 10–20 cm from all areas.

During chemical studies of the soil, the following indicators were determined: humus by the Tyurin method, the composition of exchangeable cations, acidity, the amount of forms of basic nutrients (nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium) available for the plant. These analyses make it possible to establish the type and varieties of soils, to give them an agro-industrial assessment.

The pH range from 7,78 to 7,85 mg/g of all three plots indicates that these soils are slightly alkaline. The humus content in all test plots is quite high. The amount of mobile phosphorus is the lowest in undisturbed area № 4 (0,48 mg/g), this is due to the underlying limestone rock. With a depth, the gross phosphorus content in chernozems decreases, since it is accumulated by the roots of the cereals grown here. The content of nitrate nitrogen in all three plots is relatively low – 0,22–0,25 mg/g, since it is, first of all, easily washed out from the soil profile. The potassium content in the studied soils of the test plots is high, since heavy loamy fractions prevail in the foothill zone of the Crimea. The content of exchangeable Ca (16–19 mg/100 g of soil) and Mg (2,43–2,82 mg/100 g of soil) in the areas is quite close, but decreases in magnesium on arable land (2,22 mg/100 g of soil).

The indicator of "respiration" of soils on different test plots, in seasonal dynamics, differs significantly. So, in winter, the indicators of soil "respiration" in different areas are the lowest and range from 0,31 mg/g to 0,52 mg/g. In the virgin steppe in spring (plot

№ 4) in horizon B, these indicators are the highest  $1,58 \pm 0,11$  CO<sub>2</sub>/100 g of soil per day. Due to the dry summer, all indicators decrease, since redox processes are inhibited. In the autumn period, the mobilization of nutrients increases, therefore, the second peak of values is revealed, they do not fall below 0,89 mg/g (study № 4). The studied enzymes: catalase, peroxide and polyphenol oxidase, have an associated dynamic with soil "respiration". This seasonal dynamic contributes to the accumulation of enzymes in the soil in the autumn and winter periods and the intensification of their activity in the spring.

**Keywords:** "breathing" of soil, carbon dioxide, dynamics, microbiota, foothill Crimea.

### References

1. Rozanova B. G. *The role of invertebrates in the formation of the composition of soil air*, 27 (Moscow State University, 1986).
2. Golyadkina I. V., Pankov Y. V. Assessment of the influence of polyacrylamide on the indicators of biological activity of the soil, *Forestry journal*, **12**, 4, 16 (2013).
3. Raich J. W., Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls, *Biogeochemistry*, **1**, **48**, 71 (2000).
4. Atarashi-Andoh M., Koarashi J., Ishizuka S. [et al.] Seasonal patterns and control factors of CO<sub>2</sub> effluxes from surface litter, soil organic carbon, and root-derived carbon estimated using radiocarbon signatures, *Agr. Forest Meteorol*, **152**, 149 (2012).
5. Raich J. W., Schlesinger W. H. The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate, *Tellus*, **2**, 44, 81 (1992).
6. Stepanov A. L. *Microbial transformation of greenhouse gases in soils*, 192 (GEOS, 2011).
7. Rastogi M., Singh S., Pathak H. Emission of carbon dioxide from soil, *Current Science*, **82** (5), 510 (2002).
8. Slavinskaya A. V., Ivashov A. V., Kobechinskaya V. G. [et al.] Enzymatic activity of soils taking into account the seasonal dynamics in the foothill zone of the Crimea, *KFU of the V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **7(73)**, 1, 169 (2021).
9. Aleksandrova P. N., Naydenova O. I. *Laboratory-practical classes in soil science*, 280 (Kolos, 1974).
10. Makarov B. N. A simplified method for determining soil respiration and biological activity, *Soil Science*, **9**, 119 (1957).
11. Lakin G. F. *Biometrics*, 343 (Higher school, 1978).
12. Orlov D. S. *Soil Chemistry*, 400 (MSU, 1992).
13. Durand G. Contribution al etude de la biologie du sol, Sur le catabolisme des acides nucleiques et de leurs derives, *These doct. sci.*, 233 (Toulouse, 1966).
14. Gorbyleva A. I. *Soil science with the basics of geology: textbook*, 480 (New knowledge, 2002).
15. Dalai R. C. Effect of toluene on the energy barriers in urease activity of soils, *Soil Sciencs*, **120**, 4, 256 (1975).
16. Roberge M. R., Knowles R. Factors affecting urease activity in a black spruce humus sterilized by gamma radiation, *Canad. J. Soil Sci.* **48**, 3, 355 (1968).
17. Rotini O. T. La prenzence l attivita delle pirofosfatasi in alcuni substrati organici e nei terreno, *Atti Soc. Ital. progr. Sci*, **11**, 3 (1963).
18. Dragan N. A. *Soil resources of the Crimea*, 208 (Share, 2004).
19. Ambroz Z. K poznani cellulazoveho komplexu v pudach, *Rostl. Vyroba*, **19**, 2, 207 (1973)
20. Dobrovolsky G. V., Nikitin E. N. *Ecology of soils. The doctrine of the ecological function of soils*, 412 (MSU, 2012).
21. Khaziev F. H. Soil and biodiversity, *Ecology*, **3**, 184 (2011).