

УДК 574.42

## **Дыхание и эвапотранспирация экосистем степной катены (Западная Сибирь)**

Наумов А. В.

В работе исследована суточная динамика суммарной эмиссии CO<sub>2</sub> и эвапотранспирации степных экосистем. Показано профильное распределение углекислого газа в почвенном воздухе в условиях засоления. Полученные результаты помогают объяснить экологическую функцию степной катены.

Ключевые слова: степная катена, экосистема, эмиссия CO<sub>2</sub>, дыхание, эвапотранспирация.

## **Total ecosystem respiration and evapotranspiration of steppe catena (West Siberia)**

Naumov A. V.

The article deals with the diurnal dynamics of CO<sub>2</sub> emission and evapotranspiration of steppe ecosystems. The profiles of carbon dioxide distribution in soil atmosphere were set under soil salinity conditions. The findings help to explain the ecological function of steppe catena.

Keywords: steppe catena, ecosystem, CO<sub>2</sub> emission, total respiration, evapotranspiration

### **Введение**

В условиях меняющегося климата и глобальных изменений окружающей среды на первое место приходится ставить исследования по прогнозированию структурных и функциональных изменений в ландшафтах, отдельных экосистемах и биосфере в целом. Экологический подход позволяет изучать механизм взаимодействия между компонентами системы (геосистемы), относительно постоянными (инвариантными) и изменяющимися во времени.

Разделение ландшафтов по условиям миграции химических элементов способствовало развитию ландшафтно-геохимической концепции катены, согласно которой серия элементарных ландшафтов, сменяющих друг друга от

самой верхней точки местной депрессии к нижней точке и связанных латеральными миграционными потоками, образует простейшую каскадную ландшафтно-геохимическую систему [1]. Геохимическая сопряженность экосистем в ландшафтах вместе с климатическими условиями природной зоны во многом определяют и географические особенности почвенного покрова.

Среди экологических проблем, затрагивающих степные экосистемы, аридизация территории и засоление почв традиционно занимают важное место в научных исследованиях. Однако комплексной оценке функционального состояния сопряженных элементов степных ландшафтно-геохимических систем отводится сравнительно мало внимания. В этом аспекте информация об интегральных параметрах, характеризующих совокупное проявление многих реакций и процессов внутри системы, может оказаться весьма полезной.

### **Цель исследования**

Целью исследования является изучение дыхания и эвапотранспирации пространственно-генетического ряда почв и экосистем степной катены и установление закономерностей структурно-функциональной организации элементарных почвенно-геохимических степных ландшафтов, широко распространенных на юге Западной Сибири.

### **Объекты и методы исследования**

В настоящее время на юге Западной Сибири естественная степная растительность встречается лишь небольшими островками на гривах, пологих склонах локальных депрессий, вдоль русел, пересыхающих летом, временных водотоков [2, 4]. Растительный покров степных участков отличается однообразием и бедным флористическим составом.

Процессы обмена между почвой, растительным покровом и атмосферой в ряду сопряженных экосистем степной катены ответственны за функциональную устойчивость биогеохимического цикла. В качестве интегральных параметров, характеризующих функциональное состояние и работу отдельных звеньев почвенно-геохимической степной катены, нами изучались эмиссия углекислого газа (R) и суммарное испарение (E).

Исследования вели в Баганском районе Новосибирской области. Измерения проводили в начале июля на ландшафтно-геохимической катене протяженностью 1100 метров, которая представляла собой ряд сменяющих друг друга растительных сообществ и почв разной степени засоления [7].

Для измерения скорости почвенного  $\text{CO}_2$ -газообмена использовали метод статичных замкнутых камер (static chamber method) [5, 6]. Экспозиционную камеру из оргстекла объемом 60,8 литра на время измерения устанавливали на стальное основание размером 37×37 см, которое предварительно заглубляли в почву. В каждом растительном сообществе устанавливали по два основания. Герметизация системы достигалась с помощью гидрозатвора. Циркуляция воздуха в камере осуществлялась с помощью встроенного вентилятора. Время экспозиции составляло 15 минут. Некоторые особенности этой полевой методики рассматривались нами ранее [7].

Скорость эмиссии рассчитывали по изменению содержания углекислого газа внутри камеры, основываясь на линейной регрессионной модели. Концентрацию углекислого газа, давление, температуру и относительную влажность воздуха внутри камеры регистрировали автоматически с помощью многофункционального анализатора Testo-435 (Germany). Коэффициенты детерминации  $R^2$  линейной регрессии находились в интервале 0,94—0,99, что служило доказательством достоверности результатов. Температуру почвы измеряли цифровым термометром T1 штыревого типа той же фирмы. Суточный ход температуры воздуха у поверхности почвы регистрировали логгером Testo 175-T2 каждые 10 минут.

Скорость суммарного испарения (evapotranspiration) оценивали по изменению относительной влажности воздуха внутри экспозиционной камеры. Для аппроксимации экспериментальной зависимости влажности от времени использовали функцию вида:  $w = w_0(1 - a \cdot \exp(-k \cdot t))$ . Скорость процесса характеризовали значением производной в момент времени  $t = 0$ , соответствующий началу эксперимента.

Распределение углекислого газа в почвенном профиле изучали методом трубок, устанавливаемых на разной глубине. Содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе определяли хроматографически с помощью газового хроматографа Кристалл-5000.

Основные позиции катены, на которых проводились наблюдения:

- А — чернозем южный, поле пшеницы;
- П1 — чернозем южный, ковыльно-овсецовая разнотравная степь;
- П2 — солонец средний, засоленный злаково-разнотравный луг;
- П3 — солонец мелкий, полынно-злаковое сообщество;
- П4 — солонец луговой корковый, разреженное кермеково-бескильнищевое сообщество.

## **Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ суточной динамики  $\text{CO}_2$ -газообмена (рис. 1) показал, что для разных позиций степной катены относительно высокие скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  наблюдаются в середине дня при высоких дневных температурах воздуха. Снижение температуры в вечерние и ночные часы вызывает соответствующее снижение скорости дыхания. Однако изменение погодных условий способно оказать существенное влияние на суточную динамику этого процесса. Полевые наблюдения, проводившиеся в течение двух последовательных суточных циклов, позволили зарегистрировать реакцию системы на выпадение жидких атмосферных осадков (правая часть диаграммы, рис. 1). В течение второго суточного цикла, начиная с 10 часов утра и до 8 часов вечера, периодически выпадали осадки в виде мелкого морозящего дождя. Дневная температура колебалась в относительно узком диапазоне 16–18 градусов. Три небольших подъема температуры в течение дня совпали с прекращением дождя. Несмотря на относительно небольшие колебания температуры воздуха, суммарная эмиссия  $\text{CO}_2$  возросла и превысила максимум предыдущего суточного цикла. Очевидно, значительное усиление эмиссии может быть связано как с активизацией почвенной биоты, так и с вытеснением влагой обогащенного углекислым газом почвенного воздуха.

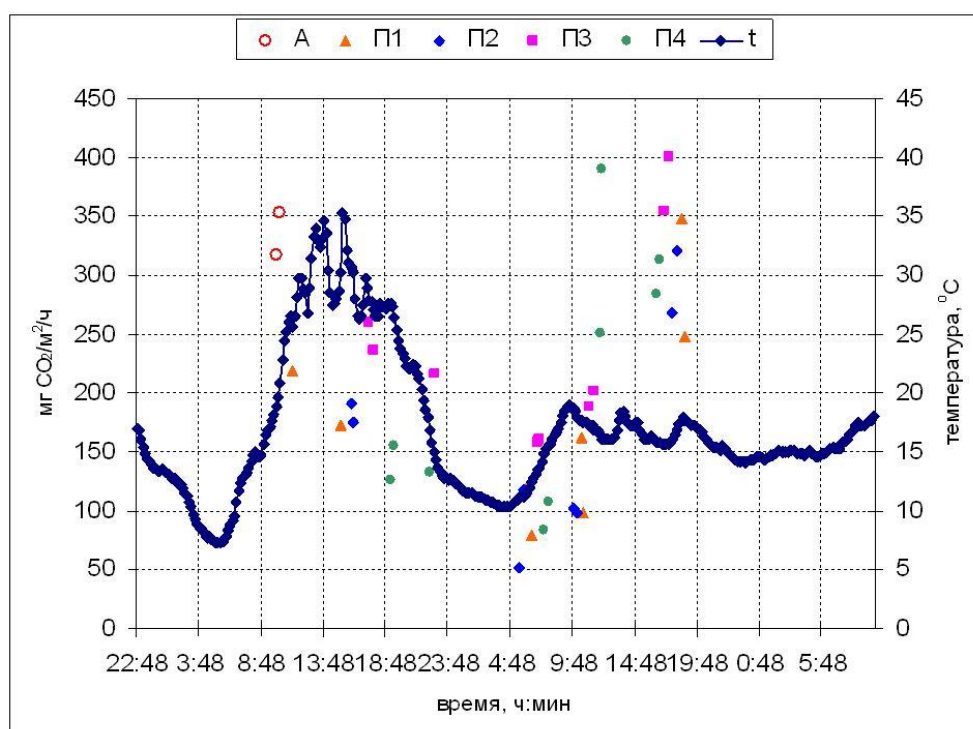


Рисунок 1 — Суточный ход интенсивности  $\text{CO}_2$ -газообмена и температуры воздуха в приземном слое на степной катене

Суммарный расход влаги на транспирацию и физическое испарение с поверхности почвы и растений (эвапотранспирация) является одним из факторов проявления водного режима экосистемы. Годовой расход влаги на эвапо-

транспирацию тесно коррелирует с запасами фитомассы и первичной продуктивностью природных экосистем [3, 8].

Изучение суточной динамики суммарного испарения влаги степными экосистемами позволяет выявлять влияние актуальных значений факторов окружающей среды на функциональное состояние и водный баланс степной растительности в условиях ограниченного водоснабжения. Суточный ход температуры воздуха у поверхности почвы и эвапотранспирации для разных экосистем степной катены показан на рис. 2.

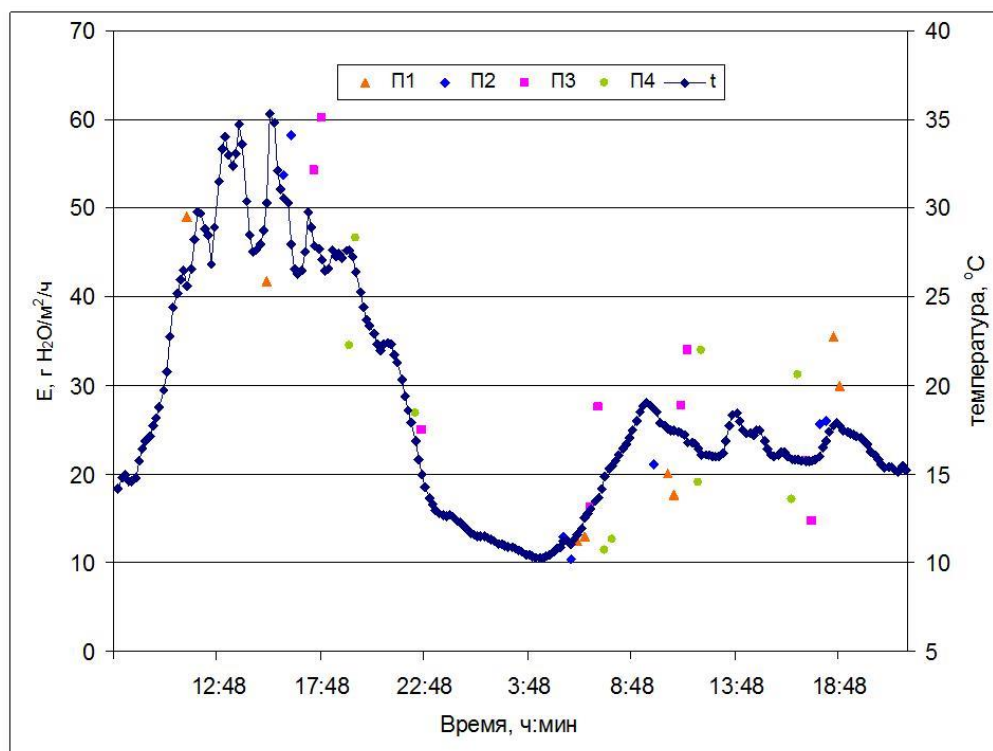


Рисунок 2 — Суточный ход эвапотранспирации в экосистемах степной катены

В суточной динамике суммарный расход влаги фитоценозами степной катены следует за ходом температуры воздуха в приземном слое. При температуре 30—35 °С интенсивность эвапотранспирации ковыльно-овсецового степного участка оказалась ниже по сравнению с сообществами, расположенными ниже по склону и получающими дополнительную влагу с поверхностным стоком. Однако после непродолжительного дождя и понижения температуры воздуха (правая половина диаграммы) скорость суммарного испарения и транспирации в разных экосистемах существенно снизилась и изменялась в относительно узком интервале значений.

Среднесуточные значения скорости эмиссии CO<sub>2</sub> (R) и суммарного испарения влаги (эвапотранспирация, E) представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Среднесуточная эмиссия и суммарное испарение на позициях степной катены

Позиция катены	R, мг CO <sub>2</sub> /(м <sup>2</sup> ·ч)	E, г H <sub>2</sub> O/(м <sup>2</sup> ·ч)
П1	181 ± 36	27,6 ± 3,3
П2	166 ± 37	29,3 ± 2,7
П3	242 ± 34	31,2 ± 2,6
П4	205 ± 39	25,9 ± 3,1

Несмотря на сравнительно резкие колебания показателей R и E в суточном цикле, их усредненные за время наблюдений значения различаются мало. Тем не менее, следует обратить внимание на более высокие скорости эмиссии CO<sub>2</sub> и эвапотранспирации на позициях П3 и П4 при значительной изреженности растительного покрова.

Общая эмиссия на пашне (южный чернозем) составила 317—353 мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>/ч. При этом вклад надземной фитомассы растений пшеницы был довольно высоким 44—64 %. Для сравнения, измеренная нами суммарная эмиссия CO<sub>2</sub> серой лесной почвы (подтаежная зона) с луговой растительностью при сравнительно схожих температурных условиях составляла от 958 до 1703 мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>/ч в течение дневного хода. Доля дыхания надземной фитомассы луговой растительности составила 20—36 % в общем потоке при интенсивности темного дыхания 6,6—12,8 мг CO<sub>2</sub>/г сух. в/ч.

Обобщенная зависимость распределения содержания CO<sub>2</sub> в почвенном воздухе с глубиной для разных позиций катены представлена на рис. 3. В общем виде изменение концентрации углекислого газа с глубиной может быть описано квадратичной параболой. Максимальное содержание CO<sub>2</sub> отмечается на глубине 150 см. Для разных позиций катены газовый профиль имеет аналогичный вид. Опять же более высокое содержание углекислого газа наблюдалось в профиле солонца мелкого (П3), где уже на глубине 50 см концентрация CO<sub>2</sub> составляла около 0,2 %.

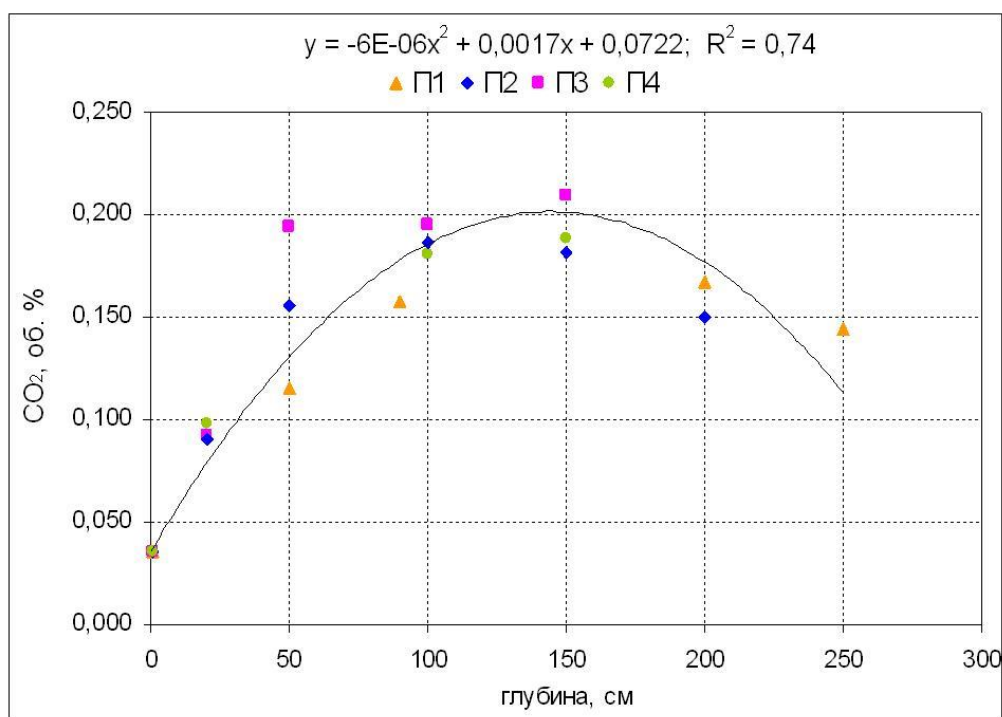


Рисунок 3 — Распределение содержания углекислого газа в почвенном профиле степной катены

Для сравнения в профиле серой лесной почвы в подтаежной зоне нами наблюдалось аналогичное распределение углекислого газа с глубиной, но его содержание в почвенном воздухе было существенно выше: 20 см — 0,65 %, 50 см — 1,82 %.

### Заключение

Таким образом, полученные материалы по эмиссии углекислого газа, эвапотранспирации и профильному распределению CO<sub>2</sub> на степной катене позволяют сформулировать следующий вывод.

Степная катена, образованная рядом почв и растительных сообществ, существенно различающихся по своим основным диагностическим признакам, обладает свойством пространственного осреднения показателей суммарной эмиссии CO<sub>2</sub>, эвапотранспирации, внутрипочвенного профильного распределения углекислого газа. Это важное свойство характеризует степную катену как природный континуум, выполняющий стабилизирующую функцию в лесостепном ландшафте юга Западной Сибири.

### Список литературы

1. Глазовская, М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.
2. Королюк, А. Ю., Смоленцев, Б. А., Лащинский, Н. Н. Почвенно-растительный покров приозерной равнины Кулундинского озера // Растительный мир Азиатской России, 2008. – № 2. – С. 80—88.
3. Лархер, В. Экология растений. М.: Мир, 1978. – 384с.
4. Орлова, И. В. Динамика и сбалансированность структуры землепользования приграничных степных районов Западной Сибири // Степной бюллетень, 2006. – № 21—22 . (<http://savesteppe.org/ru/archives/2498>).
5. Anthony, W.H., Hutchinson, G.L., Livingston, G.P. Chamber measurement of soil-atmosphere gas exchange: linear vs. diffusion-based flux models // Soil Sci. Soc. Am. J., 1995. – V. 59. – N 5. – P.1308—1310.
6. Hutchinson, G.L., Mosier, A.R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes // Soil Sci. Soc. Am. J., 1981. – V. 45. – N 2. – P.311—316.
7. Naumov, A. V., Smolentseva, E. N. Chapter 7. Estimation of carbon dioxide exchange of cascade geochemically conjugated steppe ecosystems in salinity condition. // Steppe ecosystems: biological diversity, management and restoration / Eds. M. B. Morales Prieto and J. Traba Diaz. Nova Science Publishers, New York, 2013. – P. 153—163.
8. Rosenzweig, M. L. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data // Amer. Natur., 1968. – V. 102. – N 923. – P. 67—74.

## Spisok literatury

1. Glazovskaya, M. A. Geoximiya prirodnyx i texnogennyx landshaftov SSSR. M.: Vysshaya shkola, 1988. — 328 s.
2. Korolyuk, A. Yu., Smolencev, B. A., Lashhinskij, N. N. Pochvenno-rastitel'nyj pokrov priozernoj ravniny Kulundinskogo ozera // Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii, 2008. — № 2. — S. 80—88.
3. Larxer, V. E'kologiya rastenij. M.: Mir, 1978. — 384 s.
4. Orlova, I. V. Dinamika i sbalansirovannost' struktury zemlepol'zovaniya prigranichnyx stepnyx rajonov Zapadnoj Sibiri // Stepnoj byulleten', 2006. — № 21—22 (<http://savesteppe.org/ru/archives/2498>).
5. Anthony, W.H., Hutchinson, G.L., Livingston, G.P. Chamber measurement of soil-atmosphere gas exchange: linear vs. diffusion-based flux models // Soil Sci. Soc. Am. J., 1995. — V. 59. — N 5. — P. 1308—1310.
6. Hutchinson, G.L., Mosier, A.R. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes // Soil Sci. Soc. Am. J., 1981. — V. 45. — N 2. — P. 311—316.



7. Naumov, A. V., Smolentseva, E. N. Chapter 7. Estimation of carbon dioxide exchange of cascade geochemically conjugated steppe ecosystems in salinity condition. // *Steppe ecosystems: biological diversity, management and restoration* / Eds. M. B. Morales Prieto and J. Traba Diaz. Nova Science Publishers, New York, 2013. — P. 153—163.
8. Rosenzweig, M. L. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data // *Amer. Natur.*, 1968. — V. 102. — N 923. — P. 67—74.