

ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ УРО РАН

## ЭКОЛОГИЯ. ГЕНЕТИКА. ЭВОЛЮЦИЯ

Материалы Всероссийской конференции  
молодых ученых,  
посвященной 115-летию Н.В. Тимофеева-Ресовского



Екатеринбург

ГОЩИКИ

2015

УДК 574 (061.3)

Э 40

**Экология. Генетика. Эволюция.** Материалы конф. молодых ученых, 13–17 апреля 2015 г. / ИЭРиЖ УрО РАН – Екатеринбург: Гощицкий, 2015 — 160 с.

В сборнике опубликованы материалы Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 115-летию Н.В. Тимофеева-Ресовского «Экология. Генетика. Эволюция». Мероприятие проходило в Институте экологии растений и животных УрО РАН с 13 по 17 апреля 2015 г. Работы посвящены проблемам изучения биологического разнообразия на популяционном, видовом и экосистемном уровнях, этологии, анализу экологических закономерностей эволюции, поиску механизмов адаптации биологических систем к экстремальным условиям, а также популяционным аспектам экотоксикологии, радиобиологии и радиоэкологии.

В оформлении обложки использован рисунок Олега Цингера © Zinger, 1945

ISBN 978-5-98829-048-3

© Авторы, 2015

© ИЭРиЖ УрО РАН, 2015

© Оформление. Издательство «Гощицкий», 2015

## **Опыт использования данных дистанционного зондирования Земли в экологии импактных регионов на примере индекса NDVI**

**И.А. Сморкалов**

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург*

---

*Ключевые слова: дыхание почвы, NDVI, промышленное загрязнение, вегетационный индекс, медеплавильный завод лесные экосистемы, продуктивность*

Промышленное загрязнение оказывает сильное воздействие на все компоненты экосистем, в том числе на цикл углерода — один из ключевых элементов функционирования природных сообществ. Для надежного моделирования изменений углеродного бюджета, необходимо уметь относительно точно оценивать его отдельные составляющие. Нами было показано, что разные компоненты эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы (расходной части бюджета углерода) либо практически не изменяются при приближении к источнику эмиссии поллютантов (дыхание лесной подстилки), либо незначительно угнетаются (дыхание минеральных горизонтов) (Сморкалов, Воробейчик, 2012, 2016). Приходная часть бюджета углерода, выраженная в величине надземной фитомассы, обычно уменьшается с усилением загрязнения (Усольцев и др., 2012; Воробейчик и др., 2014). Классические методы определения биомассы растений очень трудоемки и проводятся, как правило, для отдельных ярусов (моховой, травяно-кустарничковый, древесный). В настоящее время активно развиваются методы оценки состояния растительности, основанные на использовании данных дистанционного зондирования Земли. Так, например, широко используется нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI) (Трифорова, Мищенко, 2013; Reynolds et al., 2015) — параметр, обычно демонстрирующий значительную корреляцию с общей надземной фитомассой. Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0.6–0.7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0.7–1.0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность

(связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко выделять и анализировать растения отдельно от прочих природных объектов. Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения и позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия освещенности в момент снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр. Цель работы — проанализировать изменение величины NDVI и его взаимосвязь с дыханием почвы и лесной подстилки в градиенте промышленного загрязнения.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работы проведены возле Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ) — крупного предприятия цветной металлургии, действующего с 1940 г. и расположенного на Среднем Урале (подзона южной тайги) около г. Ревды Свердловской обл., в 50 км к западу от Екатеринбурга. Основные ингредиенты выбросов —  $\text{SO}_2$  и пылевые частицы с сорбированными металлами и металлоидами (Cu, Pb, Cd, Zn, Fe, As, Hg и др.). Работы проведены в ельниках-пихтарниках, где под действием загрязнения произошла закономерная смена растительных ассоциаций — от неморально-кисличных через разнотравно-злаковые до мохово-хвощовых и мертвопокровных. Почвенный покров представлен бурыми горно-лесными, дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами. В фоновой зоне мощность подстилки равна 2–3 см, в буферной — увеличена до 5–7 см, в импактной — до 10–15 см. Выбрали 10 участков на удалении от 1 до 33 км к западу от завода. На каждом участке было заложено по 3 пробные площади ( $25 \times 25 \text{ м}^2$ ) в сходных ландшафтных и почвенно-растительных условиях (отстоят на 50–200 м друг от друга).

Дыхание почвы измеряли 8–11 июля 2013 г. с 10 до 16 ч. На каждой пробной площади эмиссию  $\text{CO}_2$  измеряли в 10 случайно выбранных точках (точки отстоят не менее чем на 5 м друг от друга). Всего выполнено 300 измерений на 30 пробных площадях.

Скорость потока  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы измеряли полевым респирометром Li-8100A (Li-Cor biosciences, США), работающим по принципу закрытого динамического камерного метода (Luo, Zhou, 2006).

Для разделения общей эмиссии на эмиссию из лесной подстилки и минеральных горизонтов почвы использовали оригинальную методику (Сморкалов, 2013). Измерение дыхания подстилки проводили в тех же точках, что и измерение общей эмиссии  $\text{CO}_2$ .

NDVI рассчитывали по формуле

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}},$$

где NIR и RED – измеряемые яркости ближнего инфракрасного и красного каналов сканера спутника, соответственно. Для расчетов использовали снимок со спутника Landsat 7/ETM+ от 6 июля 2013 г. с пространственным разрешением 30 м (<http://earthexplorer.usgs.gov>). Обработку снимка проводили в программе QGIS v. 2.6.0 с использованием растрового калькулятора и плагина «Point Sampling Tool». Значение индекса на снимке определяли по GPS-координатам центра каждой пробной площади. Всего получено 30 значений NDVI.

В качестве показателя уровня загрязнения использовали содержание меди в лесной подстилке (Сморкалов, Воробейчик, 2011).

Для статистической обработки использовали корреляционный и регрессионный анализы.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значения NDVI колебались от 0.24 до 0.47 (табл. 1) и не перекрывались между зонами; показали значимую отрицательную корреляцию с уровнем загрязнения (табл. 2, рисунок). Уменьшение NDVI при увеличении степени загрязнения согласуется со снижением биомассы травяно-кустарничкового яруса и изреживанием древостоя в исследуемом районе (Усольцев и др., 2012; Воробейчик и др., 2014).

Из рассмотренных показателей эмиссии CO<sub>2</sub> сильнее всего NDVI коррелировал с дыханием минеральных горизонтов, тогда как связь

Таблица 1. Значения NDVI в разных зонах нагрузки

Зона нагрузки	NDVI	
	Среднее±ошибка	min–max
Фоновая (n=9)	0.43±0.007	0.41–0.47
Буферная (n=12)	0.39±0.007	0.33–0.42
Импактная (n=9)	0.29±0.009	0.24–0.33

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Спирмена значений NDVI с показателями эмиссии CO<sub>2</sub> и содержанием Cu (n=30).

Общая эмиссия	Дыхание подстилки	Дыхание минеральных горизонтов	Содержание Cu
0.53*	0.12	0.65*	-0.82*

Примечание: \* – корреляция значима при p<0.01.

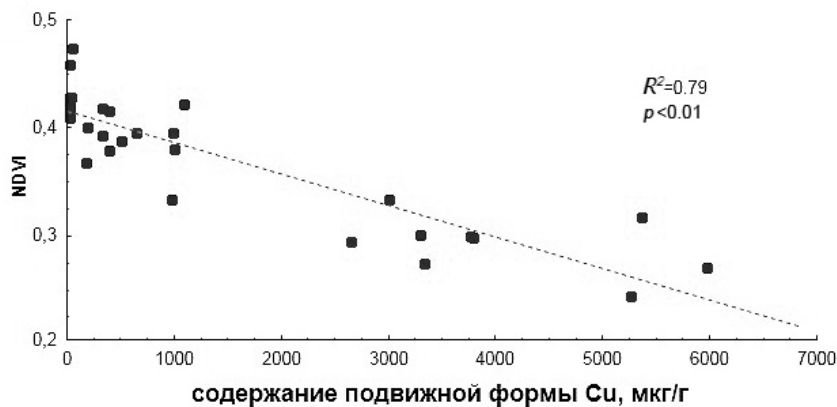


Рисунок. Зависимость NDVI от содержания подвижной формы меди в подстилке.

с дыханием подстилки (см. табл. 2) отсутствовала. Вероятно, это связано с тем, что почти все корни сосредоточены в минеральной части профиля и практически отсутствуют в подстилке (Сморкалов, Воробейчик, 2016). Сопоставляя отсутствие связи запаса корней в минеральных горизонтах со степенью загрязнения (Сморкалов, Воробейчик, 2016), значимое уменьшение величины надземной фитомассы (по полученным нами значениям NDVI и по литературным данным (Воробейчик и др., 2014)) и эмиссии  $\text{CO}_2$  из минеральных горизонтов при увеличении загрязнения, мы предположили следующий механизм действия загрязнения на интенсивность дыхания минеральных горизонтов. В ответ на изреживание древостоя при приближении к источнику выбросов, в фитоценозе происходят компенсаторные реакции, выраженные в увеличении густоты подраста и разрастании толерантных к загрязнению видов травяно-кустарничкового яруса (в первую очередь злаков) (Воробейчик и др., 2014). В результате происходит уменьшение надземной фитомассы на фоне отсутствия значительных изменений подземной биомассы (Сморкалов, Воробейчик, 2016). Таким образом, автотрофная составляющая дыхания минеральных горизонтов остается постоянной в градиенте загрязнения. Микробное же дыхание из минеральной части профиля уменьшается с увеличением загрязнения, что соответствует данным о реакции микрофлоры на повышенное содержание тяжелых металлов (Frey et al., 2006; Åkerblom et al., 2007). Суммарный поток  $\text{CO}_2$ , соответственно, уменьшается при приближении к источнику поллютантов.

Таким образом, полученные предварительные данные показывают, что использование NDVI в качестве показателя продукции надземной фитомассы дает адекватные результаты и позволяет приблизиться к пониманию механизмов изменения бюджета углерода при промышленном загрязнении. Однако следует отметить, что для точной оценки биомассы с помощью данных дистанционного зондирования необходимо провести калибровку по результатам прямого определения биомассы и атмосферную коррекцию исходных космоснимков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 15–12–4–27).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воробейчик Е.Л., Трубина М.Р., Хантемирова Е.В., Бергман И.Е. Многолетняя динамика лесной растительности в период сокращения выбросов медеплавильного завода // Экология. 2014. № 6. С. 448–458.
- Сморкалов И.А. Определение интенсивности дыхания подстилки *in situ*: новые вопросы // Экология: теория и практика: материалы Всерос. конф. молодых ученых, изд-во “Голицынский”. Екатеринбург, 2013. С. 101–102.
- Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429–435.
- Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л. Влияние промышленного загрязнения тяжелыми металлами на дыхание лесной подстилки // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. Т. 37, № 5. С. 224–227.
- Сморкалов И.А., Воробейчик Е.Л. Механизм стабильности эмиссии CO<sub>2</sub> из лесной подстилки в градиенте промышленного загрязнения // Лесоведение. 2016 (в печати).
- Трифопова Т.А., Мищенко Н.В. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных. Москва: ГЕОС, 2013. 272 с.
- Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: исследование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2012. 365 с.
- Åkerblom S., Bååth E., Bringmark L., Bringmark E. Experimentally induced effects of heavy metal on microbial activity and community structure of forest mor layers // Biology and Fertility of Soils. 2007. V. 44. № 1. 3. 79–91.
- Frey B., Stemmer M., Widmer F. et al. Microbial activity and community structure of a soil after heavy metal contamination in a model forest ecosystem // Soil Biology and Biochemistry. 2006. V. 38. № 7. P. 1745–1756.
- Luo Y., Zhou X. Soil respiration and the environment. Burlington: Acad. Press, 2006. 316 p.
- Reynolds L.L., Johnson B.R., Pfeifer-Meister L., Bridgham S.D. Soil respiration response to climate change in Pacific Northwest prairies is mediated by a regional Mediterranean climate gradient // Global Change Biology. 2015. V. 21. № 1. P. 487–500.