

## СОСТОЯНИЕ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА И ПОДСТИЛКИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫБРОСАМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА ЗАО «КАРАБАШМЕДЬ»

© 2012 И.Н. Агиков

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г Москва

Поступила 20.02.2012

В данной работе представлены результаты четырехлетних исследований ключевых биоиндикационных показателей лесных экосистем произрастающих в зоне влияния медеплавильного комбината. Выявлена и объяснена синхронность S-образных кривых, описывающих зависимость общего проективного покрытия и толщины лесной подстилки от расстояния до источника воздействия. Обнаружено, что наиболее слабым звеном биологического круговорота лесных экосистем являются беспозвоночные сапрофаги.

**Ключевые слова:** общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса, мощность подстилки, почвенные беспозвоночные, сапрофаги.

### ВВЕДЕНИЕ

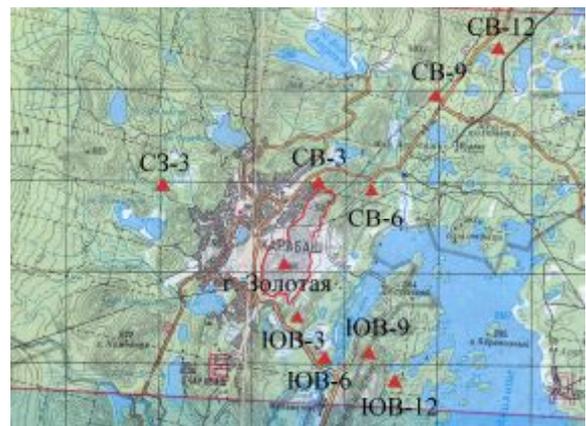
При изучении влияния антропогенного воздействия на любые экосистемы необходимо принимать во внимание такие параметры, которые отражают количественные и качественные характеристики энергетических и массовых потоков внутри биогеоценозов. К ним можно отнести жизненное состояние древостоев, радиальный и апикальный прирост древостоев, биомассу и площадь поверхности листвы древесного яруса, общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса и его биомассу, которые косвенно отражают интенсивность фотосинтеза и скорость продукции органического вещества; валовую эмиссию CO<sub>2</sub> почвой, скорость деструкции целлюлозы, толщину подстилки, которые косвенно или напрямую отражают интенсивность минерализации высокомолекулярных органических веществ. Это утверждение согласуется с результатами исследований, проведенных в зоне влияния таких объектов цветной металлургии как Североникель, Печенганикель (Кольский полуостров), Среднеуральский медеплавильный завод (Средний Урал), Карабашский медеплавильный комбинат (Южный урал) и др. [1, 2, 3].

Таким образом, целью данного исследования является изучение влияния аэротехногенных выбросов на травостой, почвы и сосновые древостои. В качестве источника аэротехногенного воздействия выступает медеплавильное предприятие ЗАО «Карабашмедь». Описание местности и краткая история завода приведены в [4]. Расположение пробных площадей представлено на рис. 1.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования в настоящей статье выступают березняки разнотравные, произрастающие на различной удаленности от источника антропогенного воздействия ЗАО «Карабашмедь». Пробные площади (ПП) закладывались на тран-

сектах, проходящих через центр источника атмосферных выбросов вдоль и поперек господствующего северо-западного направления ветров. Всего было заложено девять ПП: ЮВ-3, ЮВ-6, ЮВ-9, ЮВ-12, СВ-3, СВ-6, СВ-9, СВ-12, СЗ-3. В маркировке буквенный шифр означает направление, цифра – расстояние от труб комбината в километрах.



**Рис. 1.** Карта-схема района исследований

В течение четырех лет (2007–2010 гг.) регистрировались следующие параметры: общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса (ОПП) и мощность подстилки почв. Похожее исследование проводилось Степановым в период 1981–1984 гг., на тех же пробных площадях. Регистрировались такие параметры, как общее проективное покрытие, фитомасса травостоя, его видовой состав. Кроме того, Садыковым в тот же период на этой же территории были проведены работы по исследованию блока почвенных беспозвоночных (мезофауны). Результаты исследований советского периода будут анализироваться в данной статье. Методика работ, проводившихся в период с 1981 по 1984 гг. приведены в [1].

Общее проективное покрытие регистрировалось органолептическим методом (т. е. «на глаз») несколькими экспертами с учетных площадок (УП)

размером 0,5 × 0,5 м, которые закладывались в количестве 16 штук на каждую пробную площадь. ОПП, по сути, представляет собой отношение суммарной площади проективного покрытия всех ярусов трав и кустарничков на выделенной учетной площадке к ее площади.

Мощность подстилки регистрировалась при помощи линейки в прикопах в мм, которые закладывались случайным образом в количестве 16 штук на каждую ПП.

Все полученные данные затем переводились в безразмерный вид с помощью следующего отношения:

$$Y = \frac{y_i}{y_{\max}}, \quad (1)$$

где  $Y$  – безразмерная величина изучаемого показателя, %;  $y_i$  – его текущее значение;  $y_{\max}$  – максимально найденное за весь период исследование значение соответствующего показателя.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Состояние фитоценозов травяно-кустарничкового яруса.** Травяно-кустарничковый ярус является наиболее динамичным звеном в системе «почва-растение», так как его биомасса может меняться практически непрерывно на протяжении всего отдельно взятого вегетативного периода, что обусловлено непрерывной сменой его видового состава. Кроме того, к концу этого периода большая часть растительности отмирает и поступает в качестве опада в почву. Поэтому через травянистые растительные сообщества проходят существенная доля всех потоков вещества и энергии, что говорит об их исключительной роли в любом биогеоценозе.

На объединенных по всем направлениям графиках (рис. 2.) зависимости ОПП от расстояния до центра атмосферных выбросов координаты экспериментальных точек практически идентичны как на период настоящего исследования, в условиях сниженной антропогенной нагрузки (2007-2010 гг.), так и на момент максимальной антропогенной нагрузки (1981-1984 гг.) [1]. На обеих кривых видно, что общая проективная площадь быстро снижается по мере приближения к комбинату с 70-75 % до 2-3%, зарегистрированных на расстоянии 3 км до источника атмосферных эмиссий. Именно на этом расстоянии лесная растительность полностью исчезает, а березовые и сосновые леса становятся мертво покровными.

Следует отметить, что кривая зависимости ОПП от расстояния имеет ярко выраженный S-образный характер. Причем начало «быстрых» изменений приурочены к 9 км, их конец к 5-6 км. Очевидно, что на расстоянии 9 км уровень отрицательного воздействия медеплавильного комбината на сообщества травяно-кустарничкового яруса достигает критического уровня, а его дальнейшее повышение вызывает деградацию травостоев.

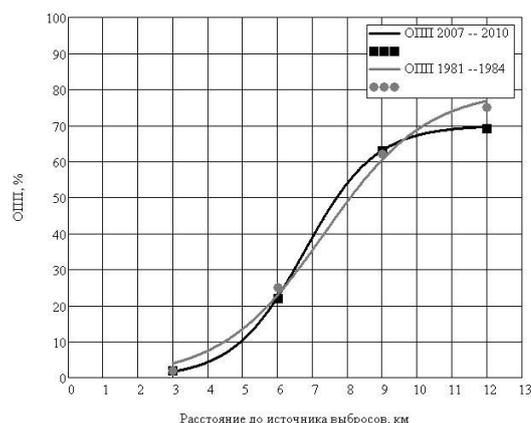


Рис. 2. Зависимость ОПП от расстояния до источника эмиссии

**Мощность подстилки почвенного покрова.** К ключевым компонентам почвенного комплекса относятся бактериальные и грибные сообщества и почвенные беспозвоночные, регулирующие деструкцию органических соединений и минеральное питание растительного комплекса. Как показала практика, наименее чувствительным к загрязнению почв тяжелыми металлами являются численность и биомасса грибного и бактериального комплексов [5-8]. Наиболее перспективным, с этой точки зрения, является такой показатель, как мощность (толщина) лесной подстилки, которая напрямую отражают состояние всего редуцирующего комплекса в целом [9, 10].

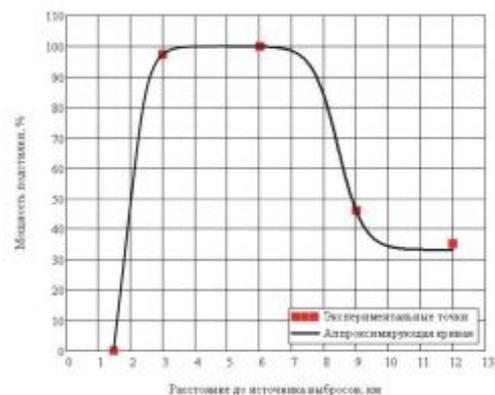


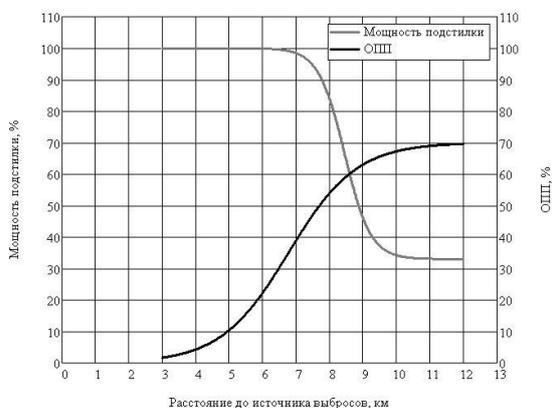
Рис. 3. График зависимости толщины подстилки от расстояния до труб комбината

В результате проведенного исследования было установлено, что мощность подстилки увеличивается по мере приближения к комбинату от 33% (что соответствует длине 25 мм) до 100% (75 мм) (рис. 3). Затем она быстро убывает и на расстоянии 1-2 км практически полностью исчезает.

Скачкообразное увеличение толщины подстилки можно объяснить следующим образом. Процесс разложения органики представляет собой конвейерный процесс, в котором за каждый его этап отвечает своя специфическая группа организмов [6, 7]. Беспозвоночные, по сути, представляют собой подготовительный этап и отвечают за измельчение и увлажнение растительных остатков.

Непосредственно за этап деструкции отвечает мицелиально-бактериальный комплекс, обеспечивающий практически полную деструкцию растительных остатков и возврат минеральных соединений в почву. Отсюда видно, что антропогенное воздействие на любой этап процесса деструкции органических соединений приведет к его торможению или полному прекращению.

Максимальная аэротехногенная нагрузка приходится на верхние слои почв, т.е. в них наблюдаются максимальные концентрации аэротехногенных поллютантов [11], и именно в этих слоях обитает основная масса беспозвоночных сапрофагов. Как показали исследования, проведенные в советский период, их численность на 9 км начинает резко снижаться. Так, на 15 км биомасса всех беспозвоночных составила  $60 \pm 12$  (г/м<sup>2</sup>), на расстоянии 9 км эта цифра упала вдвое и составила:  $31,6 \pm 0,52$  (г/м<sup>2</sup>); на расстоянии 3,5 км –  $18,3 \pm 0,98$  (г/м<sup>2</sup>); наконец, на расстоянии 2,5 км почвенные беспозвоночные практически полностью исчезают. Одновременно с падением биомассы беспозвоночных, наблюдались изменения в их трофической структуре, которая выражалась в смене доминирования сапрофагов на хищных беспозвоночных. Так, численность сапрофагов на 15 км от труб комбината была больше в 2,5 раза чем хищников и в 5,4 раза больше чем фитофагов. На расстоянии 9,5 км доминантами являлись фитофаги (62,1% от всех беспозвоночных), субдоминантами – хищники (около 35%), на долю сапрофагов приходилось всего лишь 2-3% от всех беспозвоночных.



**Рис. 4.** Объединенный график зависимостей ОПП и мощности подстилки от расстояния до источника воздействия

Основной причиной смены доминантного положения почвенных сапрофагов, явилось выпадение кольчатых червей из педоценозов. Так, биомасса люмбрицид на расстоянии уже 9,5 км упала с 59 г/м<sup>2</sup>, зарегистрированных на 15 км, до 1,92 г/м<sup>2</sup> [1], т.е. в 30 раз. Их высокая чувствительность к промышленным поллютантам также подтверждена в ряде других работ [3, 12, 13]. При этом дождевые черви на фоновых участках являются абсолютными доминантами сообществ сапрофагов. Доля, приходящаяся на их биомассу составила 96,7% от всех беспозвоночных. Их выпадение из педоценозов влечет за собой блокировку подготовительного этапа конвейерного процесса редукации растительных остатков.

Таким образом, основная причина резкого увеличения мощности подстилки, на наш взгляд, является перестройка трофической структуры беспозвоночных подстилки, наблюдаемой на 9 км. Это и объясняет наличие резкого скачка на графике.

Следует обратить внимание на тот факт, что изменение толщины лесной подстилки идет синхронно с ОПП травяно-кустарничкового яруса (рис. 4). Этот факт легко объяснить. Действительно, снижение скорости разложения опада ведет к разрыву круговорота основных элементов питания, необходимых для нормального роста трав и кустарничков. Кроме того, неразложившийся опад образует плотный мощный слой, который не позволяет корням растений достичь органо-минеральных слоев почвы, что отрицательно сказывается на прорастании семян.

Таким образом, резкое снижение скорости деструкции растительных органических остатков отчетливо характеризуется скачком толщины лесной подстилки. При этом изменение мощности подстилки протекает синхронно с ОПП травяно-кустарничкового яруса. Отсюда следует, что наиболее слабым звеном в почвенном комплексе является блок почвенных беспозвоночных.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований было установлено, что зависимости общего проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса и мощности лесной подстилки от расстояния до источника атмосферных эмиссий имеют ярко выраженный S-образный характер. На всех кривых, на расстоянии 9 км от труб комбината, наблюдается наличие критической точки воздействия, превышение которой приводит к «быстрым» изменениям изучаемых показателей. Трофическая структура почвенных беспозвоночных на этом же расстоянии претерпевает существенные изменения, которые выражаются выпадением дождевых червей. Единство этой точки для подстилки и ОПП объясняется с позиции перестройки трофической структуры блока беспозвоночных. Беспозвоночных сапрофагов следует признать наиболее слабым звеном во всей цепи трансформации вещества биологического круговорота.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов А.М. и др. Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы южной тайги. М.: ЦЭПЛ, 1992. 246 с.
2. Черенькова Т.В. и др. Воздействие металлургических производств на лесные экосистемы Кольского полуострова. СПб: ЦЭПЛ, 1995. 252 с.
3. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений на

- земных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Уфа: Наука, 1994.
4. *Агиков И.Н., Степанов А.М.* Исследование воздействия атмосферных выбросов комбината ЗАО «Карабашмедь» на лесные экосистемы. // Экосистемы Центральной Азии: исследования, проблемы охраны и природопользования. Материалы IX убсунурского международного симпозиума. Кызыл: ГУП «Тываполиграф», 2008. С. 205-208.
  5. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
  6. *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems / Eds. D.C. Colemann, P.F. Hendrix.* CABI Publishing, 2000.
  7. *Кураков А.В., Давыдова М.А., Бызов Б.А.* Микроартроподы как регуляторы сообществ микроскопических грибов и биологической активности опада смешанного леса. // Почвоведение. 2006. № 8. С. 935-943.
  8. *Левин С.В.* и др. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1989. С. 5-46.
  9. *Воробейчик Е.Л.* Изменение мощности лесной подстилки в условиях химического загрязнения // Экология. 1995. № 4. С. 278-284.
  10. *Tyler G.* The impact of heavy metal pollution on forest: a case study of Gusum, Sweden // *Ambio*, 1984, Vol. 13, № 1, pp. 18-24.
  11. *Рассеянные элементы в бореальных лесах / Под ред. А.С. Исаева.* М.: Наука, 2004. 616 с.
  12. *Population density and tissue metal concentration of lumbricids in forest soil near a brass mill / G. Bengtsson, S. Nordstron, S. Rungren // Environmental Pollution (Ser. A), 1983, Vol. 30. P. 87-108.*
  13. *Bengtsson G., Rundgren S.* Population density and species number of enchytraeids in coniferous forest soils polluted by a brass mill // *Pedobiologia*, 1982, Bd. 24, Pp. 211-218.

### STATE OF GRASS STAND AND GROUND LITTER OF FOREST ECOSYSTEMS EXPOSURE TO ENVIRONMENTAL POLLUTION BY COPPER SMELT “KARABASHMED” ATMOSPHERIC EMISSIONS

© 2012 I.N. Agikov

National University of Science and Technology «MISIS», Moscow

The results of four years research aimed to bioindicative analysis of forest grass stand and ground litter situated near by Karabash copper smelt (Chelyabinskaya oblast) are presented. The coincidence of sigmoid curves describing dependence of grass total projective cover and ground litter depth on distance from the air emission source was revealed and explained. Invertebrate saprophages were determined to be most weak link of forest ecosystems.

**Key words:** grass total projective cover, ground litter depth, invertebrates, saprophages.