

БИОЛОГИЯ

УДК 634.948:581.5

НАКОПЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В ПОЧВАХ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА И ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

А. Г. Борисова, Н. В. Прохорова

В статье представлены результаты изучения особенностей накопления минеральных форм азота, тяжелых металлов и микробиологической активности в почвах экологически контрастных территорий.

Рост промышленных центров, всесторонняя активизация урбогенеза определяет прогрессивное негативное давление на окружающую среду. В результате происходит существенная техногенная трансформация всех компонентов городских и прилегающих к ним экосистем. Основной депонирующей средой для потока техногенных загрязнителей является почвенный покров. В настоящее время исследование городских почв идет достаточно активно, но их микробиологический статус, обеспеченность естественным и техногенным азотом на фоне полиметаллического загрязнения практически не изучались, что определяет актуальность настоящего исследования.

Целью нашего исследования было изучение особенностей накопления основных минеральных форм азота и активности бактерий рода *Azotobacter* в почве на фоне ее загрязнения тяжелыми металлами в условиях г. Самары, Жигулевского государственного заповедника и западной части Сокольных гор.

Условия и методы исследования

Борисова Анна Геннадьевна
(*fbbf123@mail.ru*), студент 4 курса биологического факультета Самарского государственного университета, 443011, Россия,
г. Самара, ул. Академика Павлова, 1.
Прохорова Наталья Владимировна
(*ecology@samsu.ru*), д.б.н., профессор кафедры экологии, ботаники и охраны природы Самарского государственного университета.

Для проведения полевых исследований на выбранных территориях были заложены 5 пробных площадей, существенно различающихся по генезису почв и степени техногенного пресса. Пробная площадь № 1 была выбрана в Жигулевском государственном заповеднике близ с. Бахилова Поляна, пробная площадь № 2 – вдоль автотрассы на ул. Ново-Садовой в районе глазной больницы, пробная площадь № 3 – на Волжском склоне в пределах Загородного парка, пробная площадь № 4 – на участке, расположенном в зоне влияния промышленной площадки металлургического завода «ЗАО Алкоа СМЗ», пробная площадь № 5 – в верхней части северного склона Сокольных гор в пределах городской черты.

В качестве объекта исследования служили почвы из верхнего гумусового горизонта (0–5 см). Почвенные образцы для лабораторных исследований отбирали методом прикопок. В городе Самаре изначально почвы были представлены черноземом выщелоченным, темно-серыми лесными и аллювиальными дерновыми насыщенными почвами [1], но в процессе развития городских территорий естественные почвы трансформировались и в настоящее время являются урбаноземами. В условиях Жигулевского заповедника и в Сокольных горах на изучаемых пробных площадях залежали соответственно дерново-карбонатные и темно-серые лесные почвы [1].

В лабораторных условиях проводилась подготовка почвенных образцов к анализам. Содержание гумуса определяли по

методу Тюрина в модификации Никитина [2], нитратов – по методу Грандваль–Ляжу [2], нитритов – с использованием реактива Грисса [3], аммиачного азота – с реактивом Несслера [4].

Для культивирования и количественного учета азотобактера использовали безазотистую питательную среду Эшби. Активность азотобактера определяли по методу почвенных комочков [5]. Кроме степени обрастания почвенных комочков колониями азотобактера (в %), измеряли диаметр колоний в миллиметрах на седьмой день инкубации колоний. Абсолютная величина диаметра колоний является показателем активности азотобактера: низкое значение диаметра соответствует низкой активности бактерий.

Количественное определение валового содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Cd, Pb) в изучаемых почвах осуществляли в специализированной лаборатории атомно-абсорбционным методом.

Статистическую обработку первичных цифровых данных проводили общепринятыми методами с помощью пакета прикладных программ «Excel 2007». Для выявления и оценки связи между изучаемыми параметрами использовали корреляционный анализ [6].

Результаты и их обсуждение

Анализ агрохимических характеристик изучаемых почв показал, что в пределах г. Самары для них характерно защелачивание, особенно выраженное на ул. Ново-Садовой и в Загородном парке. В Жигулевском заповеднике и в Соколых горах выявили слабое закисление почв. Содержание гумуса в изучаемых почвах варьировало от 0,4 до 5,6 %, при этом максимальные показатели гумусированности обнаружено для почв заповедника и зоны влияния металлургического завода. Во втором случае это, очевидно, связано с насыпным характером почв и поступлением техногенного углерода в почвенный покров данной территории.

Для оценки техногенного пресса и антропогенной трансформированности территорий использовали показатели содержания тяжелых металлов в почвах. Для сравнительного анализа были выбраны фоновые показатели, полученные ранее Н. М. Матвее-

вым с соавторами [6], а так же данные по г. Самаре из работ Н. О. Рогоулевой [7]. Кроме того, фоновые значения содержания Zn, Pb и Cd уточняли по А. И. Перельману и Н. С. Касимову [8], а также по Ф. Я. Ровинскому с соавторами [9]. В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочных допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве использовали общепринятые в России нормативы [10].

Сравнительный анализ показал, что в 2011 г. содержание всех анализируемых элементов в почвах изученных пробных площадей не превышало ОДК, ПДК и региональные фоновые концентрации [6, 8, 10]. Региональный фон был превышен только по содержанию валовых форм Pb, Cu, Ni, что, очевидно, связано с ежегодным увеличением транспортной нагрузки на всей территории г. Самары.

Как следует из таблицы 1, уровень содержания Pb в изучаемых почвах варьировал от 13 до 31 мг/кг. Минимальные значения были выявлены в почвах, отобранных вблизи автотрассы по ул. Ново-Садовая и в Жигулевском заповеднике (13,0–14,0 мг/кг), максимальные концентрации (31,0 мг/кг), в 3 раза превышающие фоновые и почти достигающие ПДК, – в Соколых горах.

Относительно высокий уровень концентрации Pb, в 2 раза превышающий региональный фон, выявлен в почвах Загородного парка (24,0 мг/кг). Активное накопление Pb почвами северного склона Соколых гор, очевидно, связано с близостью г. Самары и влиянием автотранспорта от красноглинской автотрассы, а также грузового транспорта, используемого для вывоза горной породы с Центрального и Восточного карбонатных карьеров.

Валовое содержание Cu в изучаемых почвах варьировало в пределах от 7,0 до 47,5 мг/кг. Минимальное содержание Cu было выявлено в почвах Соколых гор. Максимальное значение установили в почвах Загородного парка (47,5 мг/кг), что почти в 2 раза превышает региональный фон, но не достигает ПДК.

Содержание валовых форм Zn в изучаемых почвах было сходным на всех пробных площадях и варьировало от 29,5 до 33,4 мг/кг. Самые высокие значения были

выявлены в почвах Загородного парка, а минимум был установлен в зоне влияния металлургического завода и в заповеднике. Все

полученные концентрации Zn не превысили региональной нормы и ПДК.

Таблица 1
Валовое содержание тяжелых металлов в изучаемых почвах и их ПДК, мг/кг

Пробные площади	Pb	Cu	Zn	Cd	Ni
Жигулевский заповедник	13,7	20,0	29,5	0,72	25,0
Ул. Ново-Садовая	13,0	17,0	30,7	1,03	17,5
Загородный парк	24,0	47,5	33,4	0,77	31,5
Металлургический завод	16,3	24,0	32,7	0,64	23,7
Соколы горы	31,0	7,4	31,9	2,03	24,6
Региональный фон	11,2	27,0	75,5	2,00	28,6
ПДК	30,0	55,0	100,0	5,00	85,0

Содержание Cd в почвах района исследований варьировало в пределах от 0,64 до 2,03 мг/кг. В период исследований самое низкое значение содержания Cd было установлено в почвах зоны влияния металлургического завода (0,64 мг/кг), а самое высокое (2,03 мг/кг) – на территории Сокольных гор, что несколько превышает региональный фон, но не достигает уровня ПДК.

Максимальные концентрации Ni были выявлены в почвах Загородного парка (31,5 мг/кг), что незначительно превышает региональный фон. Минимальное содержание было обнаружено в почвах на ул. Ново-Садовая (17,5 мг/кг). Все полученные значения существенно уступали ПДК.

Таким образом, техногенное привнесение тяжелых металлов оказалось наиболее выраженным в границах г. Самары, где особенно выделялись Загородный парк и Соколы горы. На первый взгляд кажется не логичной меньшая загрязненность тяжелыми металлами почв зоны влияния металлургического завода и придорожной зоны по ул. Ново-Садовая. На самом же деле выявленная закономерность вполне объяснима и определяется преимущественно атмосферным переносом загрязнителей от основных источников к зонам аккумуляции, среди которых всегда лидируют лесистые территории.

В таблице 2 представлены данные о содержании аммонийных, нитратных и нитритных форм азота в почвах изучаемых пробных площадей. Особенности накопления всех

анализируемых минеральных форм азота в целом подчинялись одной общей закономерности, которую отражает следующий ряд пробных площадей: Жигулевский заповедник > Металлургический завод > Соколы горы > Загородный парк > ул. Ново-Садовая. Исключением является перестановка пробных площадей в варианте с нитратами, по содержанию которых Загородный парк несколько опережает Соколы горы.

Таким образом, почвы Жигулевского заповедника характеризуются наибольшим содержанием нитратных, нитритных и аммонийных форм азота, что, возможно, связано с ненарушенностью почвообразовательного процесса на его территории. Относительно высокие показатели для почв металлургического завода могут объясняться техногенным привнесением соединений азота на данную территорию. Особенно низкие показатели, обнаруженные в почвах придорожной зоны по ул. Ново-Садовой, объясняются их общей техногенной деградацией и миграцией растворимых компонентов почв из зоны поступления в зоны аккумуляции, чему способствует рельеф местности.

Основная роль в круговороте азота в почвах принадлежит микроорганизмам, к которым относятся и бактерии рода *Azotobacter*. Активность азотобактера в самом общем виде можно оценивать по степени обрастания комочков почвы и диаметру колоний [5]. Полученные результаты представлены на рисунке 1. Анализ степени обрастания комочков

почвы показал, что наибольшая активность азотобактера характерна для почв завода Металлург (100 %). Для почв Загородного парка и Сокольных гор показатель обрастания ко-

мочков почвы также достаточно высок (90–96 %), что свидетельствует о благоприятных условиях для жизнедеятельности азотобактера.

Таблица 2

**Среднее содержание минеральных форм азота
в почвах изучаемых пробных площадей, мг/кг**

Пробные площади	Нитриты	Соли аммония	Нитраты
Жигулевский Заповедник	20,5	28,5	89,5
Ул. Ново-Садовая	1,5	1,0	20,0
Загородный парк	3,0	5,0	64,0
Металлургический завод	19,0	18,0	75,0
Соколы горы	7,0	6,0	53,5

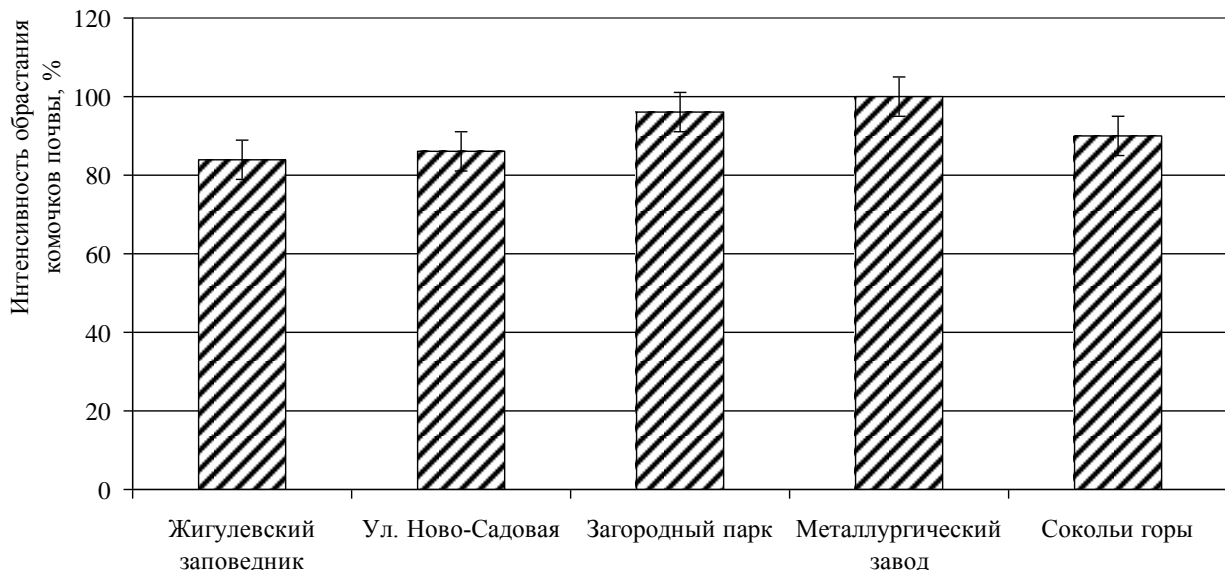


Рис. 1. Активность азотобактера в почвах изучаемых пробных площадей, оцениваемая по интенсивности обрастания почвенных комочков

Наименьшую активность проявил азотобактер из почв Жигулевского заповедника, что, возможно, связано с активной деятельностью конкурирующих форм бактерий или особенностями экологических условий на данной территории.

На рисунке 2 показана активность азотобактера, оцениваемая по диаметру образуемых ими колоний. Анализ этих показателей позволил для каждого варианта выделить три группы показателей диаметра колоний. Первая группа с максимальным диаметром колоний (2–6 мм) отражает наибольшую активность азотобактера, вторая группа с малым

диаметром колоний (от 0,1 до 1,9 мм) – ослабленную активность азотобактера и третья группа, характеризующаяся отсутствием нарастания колоний, – отсутствие активности азотобактера.

С этих позиций максимальная активность азотобактера была выявлена в почве Загородного парка, для которой установлено максимальное количество крупных колоний и очень малое – мелких. Достаточно высок уровень активности азотобактера в почвах зоны влияния Металлургического завода, для которых характерно относительно большое количество крупных колоний, пятая часть – мел-

ких колоний и отсутствие комочков почвы с неактивным азотобактером. Средний уровень активности азотобактера установлен для почв Жигулевского заповедника и Сокольных гор.

Минимум активности азотобактера установлен в почве пробной площади, расположенной вдоль автотрассы по ул. Ново-Садовой в районе глазной больницы, что мо-

жет свидетельствовать о недостатке питательных веществ для роста этих бактерий и ингибирование их активности токсичными компонентами выбросов автотранспорта. Для этого участка выявлено примерно равное количество крупных и мелких колоний, а также заметная доля комочков с полным отсутствием активности азотобактера.

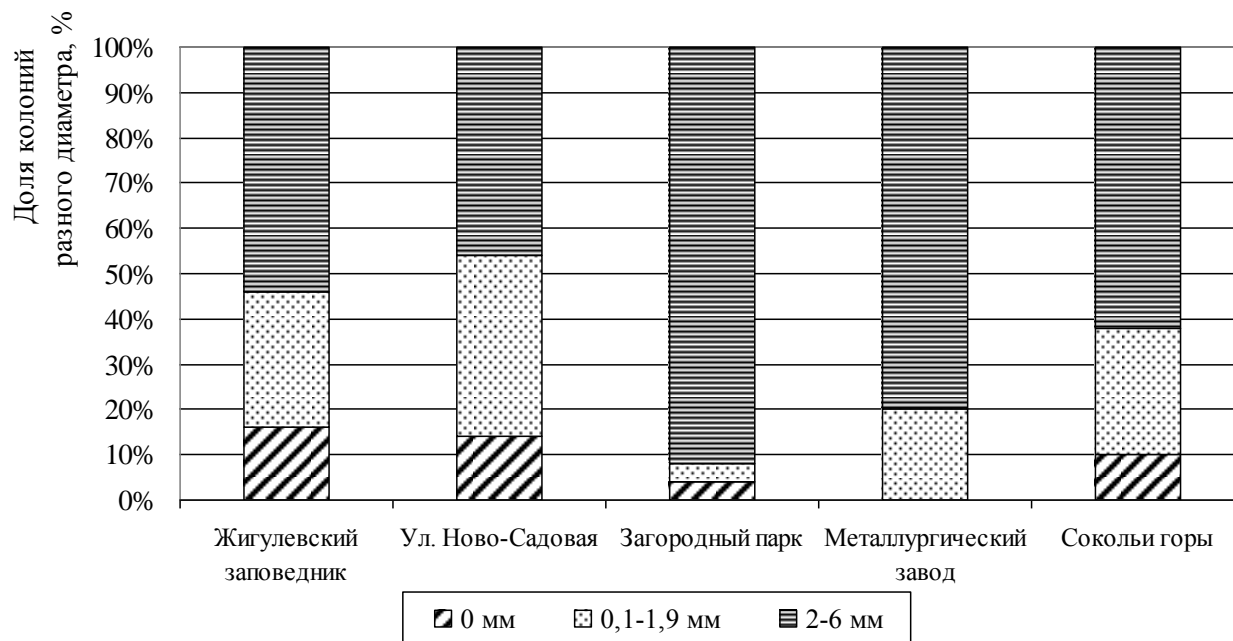


Рис. 2. Активность азотобактера в почвах изучаемых пробных площадей, оцениваемая по диаметру образуемых ими колоний

Корреляционный анализ позволил установить достоверную положительную и очень высокую степень связи между минеральными формами азота и гумусом для почв изученных пробных площадей ($r=0,88-0,96$). Отрицательная связь средней силы была установлена между минеральными формами азота и тяжелыми металлами ($r = \text{от } -0,3 \text{ до } -0,5$). Активность азотобактера положительно и значимо коррелировала с содержанием никеля, меди и цинка ($r = 0,4; 0,5 \text{ и } 0,9$ соответственно), что объясняется возможным участием этих металлов в процессах азотификации.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что содержание тяжелых металлов в почвах изученных пробных площадей на территории г. Самары и в Жигулевском государственном заповеднике в целом

не превышают ПДК и ОДК, но по некоторым анализируемым элементам (Pb, Cu, Ni) превосходят региональные фоновые концентрации. При этом максимальные концентрации металлов накапливаются не в техногенно трансформированных почвах зон влияния металлургического завода и автотрассы, как ожидалось, а в почвах старого городского парка и естественного леса в Сокольных горах. Это подтверждает депонирующую роль лесистых территорий, пространственно приближенных к источникам техногенного загрязнения.

По результатам корреляционного анализа установлена очень высокая положительная зависимость между минеральными формами азота и содержанием гумуса в почвах. Достаточно значимой оказалась связь между активностью азотобактера и валовым содержанием Cu, Ni, Zn, участвующих в метаболических процессах у бактерий, в частности, в

азотофиксации. В целом умеренное загрязнение почв тяжелыми металлами не оказывает ингибирующего воздействия на активность азотобактера, степень проявления которой, очевидно, связана с целым комплексом природных и техногенных факторов.

Литература

1. Почвенная карта Куйбышевской области. Масштаб 1: 300 000. М.: ГУГК, 1988.
2. Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 214 с.
3. Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
4. Кавеленова Л. М. Лабораторные работы большого спецпрактикума. Самара: Самарский университет, 2001. 50 с.
5. Овчинникова Т. А., Панкратов Т. А. Методы экологии почвенных микроорганизмов. Самара: Самарский университет, 2009. 62 с.
6. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
7. Роголева Н. О. К вопросу о загрязнении тяжелыми металлами снега, почв и растительности парковых насаждений в условиях г. Самары // Биогеохимия в народном хозяйстве: фундаментальные основы носферных технологий: Матер. 6-ой Международ. биогеохимической школы. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2008. С. 44.
8. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 763 с.
9. Ровинский Ф. Я., Бурцева Л. В., Чичева Т. Б. Тяжелые металлы в растительности фоновых районов (по данным многолетних наблюдений). Обзор информации. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов // ВИНТИ, 1993. № 5. С. 63–76.
10. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды: Справочный материал. СПб., 1993. 233 с.

Статья поступила в редакцию 12.10.2012 г.