

## Техногенное засоление почв и их микробиологическая характеристика

В. С. АРТАМОНОВА, Л. Ю. ДИТЦ, Т. Н. ЕЛИЗАРОВА, И. В. ЛЮТЫХ

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18  
E-mail:artamonova@issa.nsc.ru*

### АННОТАЦИЯ

Почвенно-микробиологические исследования техногенно загрязненных почв выявили пространственно-временную структуру микробных сообществ. Обнаружены основные микробиологические индикаторы степени техногенного загрязнения и природного засоления. Отмечена устойчивость отдельных видов микроорганизмов в зависимости от почвенно-экологических условий.

**Ключевые слова:** засоление почв, загрязнение, микроорганизмы, цианобактерии, микромицеты (грибы), мезофауна.

Актуальной экологической проблемой современности является увеличение ареалов засоленных почв как вследствие природных процессов, так и в результате техногенного загрязнения. Его источники – химическая и гидротехническая мелиорация, нефтедобыча, строительство дорог, создание искусственных геологических объектов – рудосодержащих хвостохранилищ, а также орошение минерализованными водами.

Техногенные галохимическое и полиметаллическое загрязнения по своей опасности выходят на первое место среди экстремальных факторов в пригородных зонах и в мегаполисах [1]. К числу основных причин развития техногенного засоления в городских почвах относится привнос натрий- и хлорсодержащих соединений с соляно-песчаной смесью, используемых в качестве противогололедного средства, что усугубляется поступлением тяжелых металлов (ТМ) с аэрогенны-

ми выбросами от транспорта и промышленных предприятий [2], с инфильтрационными растворами из снегоотвалов, свалок мусора, угле-, шлакоотвалов и хвостохранилищ градообразующих предприятий.

С подобным засолением связано формирование интегральных геохимических барьеров как реакции природных экосистем на вторжение техногенных факторов [3]. Иногда в барьерах концентрируются особо опасные химические элементы и ТМ, в миграции и трансформации которых участвует биота [4, 5]. Инфильтрационные растворы чрезвычайно разнообразны по величине рН, полиметаллическому и галохимическому составу, зачастую агрессивны, экологически небезопасны. От противогололедных соляных реагентов (рассолов) погибают деревья и трава, разрушаются здания, асфальт, автомобильные покрытия, обувь. Не случайно в Европе для борьбы с солевой эрозией разработана программа “Saltcontrol”, которая предусматривает разработку химических и бактериологических способов защиты. В нашей стране проводится поиск новых противогололедных средств,

---

Артамонова Валентина Сергеевна  
Дитц Людмила Юрьевна  
Елизарова Татьяна Николаевна  
Лютых Ирина Владимировна

но при температурах ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  многие из них малоэффективны.

Техногенное засоление урбанизированных территорий Западной Сибири усугубляется близостью первично засоленных почв Барабинской низменности и преобладающим золотым переносом солей. На фоне и без того сложной полигенетической эволюции исходно засоленных почв [6–8] обогащение их комплексом солей в результате антропогенной деятельности – новая экологическая проблема, чрезвычайно дискуссионная и прагматичная, но малоизученная.

В настоящее время г. Новосибирск активно расширяет свои границы за счет освоения прилегающих территорий, где есть засоленные и осолонцованные аналоги. На месте современного расположения мегаполиса полвека назад также выявлялись первично засоленные почвы [9]. С ростом города неизбежно возникают проблемы озеленения, подбора солеустойчивых растений, поиска приемов улучшения обеспеченности культурных фитоценозов доступными формами основных элементов минерального питания в условиях засоления, воспроизводства плодородия посредством биогенных процессов, качества городской среды обитания.

Отрицательное воздействие засоления почв на биологические объекты обуславливается щелочной реакцией среды, высоким осмотическим давлением, токсическим действием легкорастворимых солей (хлоридов, нитратов, сульфатов, карбонатов натрия и магния), а также неблагоприятных водно-физических свойств почв (ухудшение водопроницаемости за счет повышения содержания физической глины, увеличение минерализации органического вещества). В них снижается уровень потенциального плодородия, уменьшается доступность макро- и микроэлементов для растений. В случае осолонцевания наблюдается снижение степени насыщенности почвы кальцием за счет замещения его натрием и магнием. Оно ведет к подавлению доступности обменного кальция, дефицит которого означает ослабление его защитной функции при солевом стрессе растений в связи с дестабилизацией мембран. Токсическое действие натрия возрастает в присутствии хлоридов, резко ухудшая поглощение питательных элементов из засоленной почвы,

прежде всего N, P, K. Несбалансированное минеральное питание оказывается причиной голода растений, их повышенной восприимчивости к патогенам и вредителям, снижения выживаемости на фоне экстремальных природных и антропогенных факторов.

Развитие галогенеза, связанное с природными и антропогенными факторами, усиливает процессы деградации солонцовых экосистем, вызывает разрушение водонепроницаемого солонцового слоя, усиление расхода влаги на испарение. Техногенное засоление и реставрация исходного засоления наблюдаются при слабой промывке почв от легкорастворимых солей, что особенно характерно для почв тяжелого механического состава, с сильным уплотнением, слабой дренированностью, орошением высокоминерализованными водами при близком залегании солевых горизонтов, выпотном и десуктивно-выпотном режимах [10–14]. Вследствие этого резко снижается биогенность и биологическая активность почвы, т. е. совокупное действие биологических и биохимических процессов, обусловленных жизнедеятельностью микрофлоры, фауны, растений. Информации о составе микробиоты, ее продуктивной и барьерной функциях недостаточно.

Цель и задачи данной работы – изучение содержания фототрофных микробных продуцентов азотсодержащего органического вещества и сапротрофных микроорганизмов, участвующих в биогенном закреплении жизненно важных для себя и для высших растений элементов питания, определение напочвенной мезофауны, выявление жизнеспособного пула копиотрофных утилизаторов аммонийного и минерального азота, а также олиготрофных по азоту и углероду бактерий и грибов, в том числе термо-, алкало-, ацидофильных и термотолерантных. Среди фототрофных микроорганизмов рассмотрены эукариотические водоросли и эволюционно адаптированные к засолению цианобактерии. Интерес к микробиологической характеристике почв возник около 15 лет назад в связи с вторичным засолением территорий, испытывающих пастбищную, мелиоративную, в том числе ирригационную, нагрузки, и активно инициировался проф. В. Н. Михайличенко и доктором биол. наук Т. Н. Елизаровой, памяти которых посвящена эта статья.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследований выбраны засоленные почвы:

а) загрязненные природной каменной солью (3-го сорта из Соликамского месторождения Пермского края), входящей в состав противогололедной соляно-песчаной смеси – СПС (речной песок из р. Оби) в нормированном соотношении (обычно соль составляет 5–6 % от общего состава, допускается 10 %). Отбор образцов приурочен к верхнему слою почв, прилегающих к пешеходным дорожкам в селитебно-транспортных зонах сибирского мегаполиса – г. Новосибирска;

б) загрязненные СПС и строительными отходами вдоль автотрассы на окраине города в юго-западном направлении. Стационарные площадки заложены на границе мегаполиса и совхоза “Толмачевский” Новосибирского района. Отбор образцов осуществлен на катене, которую пересекает автотрасса с асфальтовым покрытием. В микроповышении почвенные разрезы заложены под полынной и злаковой ассоциациями, ниже по микросклону – в разнотравной и лугово-болотной. Образцы для анализа взяты послойно по профилю почв;

в) засоленные, не подверженные антропогенезу (Восточно-Барабинский северолесостепной почвенно-мелиоративный район). Отбор образцов выполнен на стационарных площадках, заложенных Т. Н. Елизаровой на катене в совхозе “Кабинетный” Новосибирской области. Почвенные пробы взяты последовательно по профилю лугового корково-столбчатого солонца, луговой солоцеватой почвы, солонца остепненного коркового, черноземно-луговой почвы;

г) засоленные, не подверженные антропогенезу (лесостепная и степная зоны в Баганском и Убинском районах Новосибирской области). Отбор образцов выполнен сотрудниками лаборатории биогеохимии ИПА СО РАН по инициативе д-ра биол. наук А. И. Сысо из верхнего слоя чернозема южного и лугово-черноземной солончаковатой почвы, за что авторы статьи им очень признательны.

Для изучения жизнеспособных и жизнедеятельных фото- и сапротрофных, в том числе копио- и олиготрофных по углероду и

азоту, микроорганизмов использованы стандартные почвенно-микробиологические и альгологические методы. Идентификацию микроорганизмов осуществляли по современным отечественным и зарубежным определителям. Сбор напочвенной мезофауны материала осуществлялся в пластиковые стаканы объемом 200 мл в 10-кратной повторности (по аналогии с ловушками Барбера), которые широко применяются в почвенно-зоологических исследованиях. Отбор проб производился в динамике. Статистическая обработка проведена общепринятыми методами. Содержание приоритетных для засоления токсичных элементов определяли традиционными в почвоведении методами и методом РФА-СИ. В определении гумуса, содержания обменных оснований, гранулометрического состава почв участвовали квалифицированные инженеры лаборатории географии и генезиса почв ИПА СО РАН И. К. Погорельская, Л. Д. Черепяхина, Н. Н. Николаева, за что авторы статьи выражают им свою искреннюю благодарность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Урбаноземы.** Под урбаноземами понимаются городские почвы, которые сформировались в результате воздействия совокупности природных и антропогенных факторов. Наиболее распространенным механизмом поступления экотоксикантов и других химических реагентов является снеготаяние. Весной с тальми водами на поверхность урбаноземов, которые характеризуются дефицитом свежего органического опада, поступает пул жизнеспособных копитрофных микроорганизмов, которые потребляют минеральный азот. Их количество составляет 422 тыс. КОЕ/г почвы. Кроме этой физиологической группы в СПС присутствуют олиготрофные по углероду (365 тыс. КОЕ/г) и азоту (706 тыс. КОЕ/г) микроорганизмы, а также термотолерантные (402 тыс. КОЕ/г) и алкалофильные грибы (47,5 тыс. КОЕ/г), в том числе – термофильные (14 %). Их принос, скорее всего, можно рассматривать как позитивный момент в биологической активности почв. После снеготаяния пул копитрофов-утилизаторов минерального азота в почве стал более представительным: 780–

1200 тыс. КОЕ/г почвы. Такая биогенность наблюдается в непосредственной близости к Оловокомбинату и напряженным транспортным магистралям: улицам Красина, Кропоткина, перекрестку улиц Б. Богаткова и Гаранина.

В летний период содержание сапротрофных микроорганизмов оказалось на прежнем уровне, что, безусловно, связано с дефицитом питания на фоне высокого техногенного загрязнения среды обитания. Пул обменного натрия в почвах придорожных экосистем составляет в летний период до 3 мг-экв/100 г почвы, на газонах – 0,3 мг-экв/100 г. Во всех растительных и почвенных пробах доминирует комплекс элементов Zn + Cu + Ni. Около дорог повсеместно происходит ошелачивание почв как на их поверхности, так и в корнеобитаемом слое. Отметки достигают  $pH_{\text{водн}}$  9,5. Под действием осадков, обогащенных растворенной углекислотой, изменяется реакция среды в щелочную сторону. В селитрно-транспортных зонах доминирует обменный кальций: 35,5–76,0 мг-экв/100 г почвы. В такой обстановке активную жизнедеятельность проявляют факультативные кальцефилы – нитчатые цианобактерии. Одномоментные запасы их сырой биомассы достигают 0,1 мг/1 г почвы, суммарная протяженность трихомов – до 30 м/г почвы. Более того, цианобактерии – активные накопители галогенов. Галогенированные органические соединения способствуют снижению биологического разнообразия водорослей и растительоядных животных [15], жизнедеятельности мезофауны в условиях мегаполиса.

На поверхности урбаноземов разнообразие напочвенных беспозвоночных складывается насекомыми (78,5 %), паукообразными (11,9 %), ракообразными (8,8 %) и многоножками (0,1 %). Общая динамическая плотность членистоногих составляет 3 экз./(1 ловушка/сут). Среди членистоногих преимущество имеют хищники и миксофитофаги, в то же время на газонах в присутствии опада листовых деревьев отмечается повышение плотности мокриц (15 %) – первичных деструкторов растительных остатков. Среди насекомых преобладают жесткокрылые (*Coleoptera*) и перепончатокрылые (*Hymenoptera*). Основу комплекса жесткокрылых составляют жуки, на

долю которых приходится около 70 % общей численности напочвенных жуков, но их динамическая плотность низкая – 1 экз. Обилие жуков складывается в основном представители триб: *Pterostichini* (40,3 %), *Harpalini* (21,1 %). Присутствуют стафилиниды (13,2 %), щелкуны (3,1 %), пилюльщики (3,5 %), кожееды (1,5 %), долгоносики (1,1 %), пластинчатосые (0,5 %). В целом разнообразие напочвенной мезофауны широкое, но их численное содержание низкое, что свидетельствует о незначительном вовлечении их биомассы в биологический круговорот.

Цианобактерии и водоросли положительно реагируют на галогены, подщелачивание среды и присутствие натрия. Как отмечали некоторые исследователи [15], для реакций фотофосфорилирования этим продуцентам биомассы необходимы хлориды и хлорсодержащие соединения. Усвоение натрия и кальция присуще разным видам цианобактерий [16–18]. Так, в засоленных почвах высокое содержание натрия стимулирует рост *Anabaena variabilis*, *Oscillatoria brevis*, *Gloeocapsa minor*, *Schizothrix* sp., а кальция – представителей родов *Nostoc*, *Microcoleus*. Отмирание последних и возврат их кальцефильной биомассы в почву способствуют процессам осолонцевания – рассоления.

Цианобактерии эволюционно адаптированы к засолению. Соленая вода по своей плотности приближается к плотности протоплазмы этих микроорганизмов, обеспечивает их минералами и солями, продлевает вегетацию благодаря и более медленному охлаждению почв, нежели пресная. Следовательно, экотоксикоз почв, обусловленный избытком ионов натрия и хлора, переносится этой группой микроорганизмов легче. Будучи адаптированными к сощелочной среде, фототрофные цианобактерии постоянно формируют на фоне высокой щелочности ( $pH_{\text{водн}} > 8$ ) очаги “цветения” урбаноземов вдоль пешеходных дорожек. Существенную роль в развитии “цветущих” агентов, представленных набором внутрипочвенного видового разнообразия, играют быстрота перехода их от вегетации к покою, ускоренный жизненный ритм с размножением групп клеток – гормогоний, обрывков нитей, целых нитей, спор, с продуцированием слизистых полисахаридов,

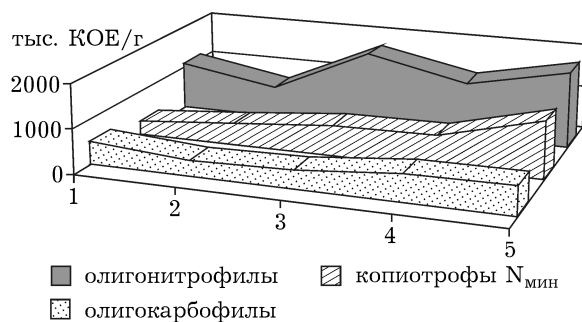


Рис. 1. Жизнеспособный пул микроорганизмов в урбаноземах: 1 – перекресток улиц Б. Богаткова и Гаранина; 2 – перекресток улиц Кошурникова – Никитина – Автогенная; 3 – около Оловкомбината; 4 – ул. Кропоткина; 5 – ул. Красина

уроновых кислот, а также способность некоторых видов к фото- и хемотаксису [18, 19].

Не случайно в составе жизнеспособного пула микробиоты выделяется и приоритетная позиция партнеров фотосинтетиков – олигонитрофильных микроорганизмов. Во всех исследуемых вариантах их запас достиг экологически значимых величин 1,1–1,7 млн КОЕ/г почвы (рис. 1). Установлено [18], что цианобактерии и олигонитрофилы в природных ассоциациях формируют наиболее тесные метаболические отношения по типу симбиотических. В нашем случае засоление способствует отбору диссипотрофов – микрофлоры рассеяния как бактериальной, так и грибной природы. Содержание микромицетов, в том числе с меланиновым пигментом, в летний период также достигло экологически значимых величин: 60–240 тыс. КОЕ/г почвы и представлено широким набором представителей родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Alternaria*. Суммарная биомасса гиф составила 10–400 мкг/г почвы, а их длина – 500 м/г почвы.

Суммарные запасы жизнеспособных клеток олигокарбофилов и копиотрофных утилизаторов минерального азота приближались к таковым олигонитрофилов.

**Комплекс засоленных почв.** На территориях, в почвенном покрове которых присутствуют засоленные и солонцеватые почвы, отмечается усиление щелочности – до  $pH_{\text{водн}}$  9,5 под полынными сообществами и 9,18 – под злаковыми. Причем высокие значения в обоих случаях выявляются как на поверхности, так и в корнеобитаемом слое. По мере гид-

роморфизма почв в пониженных элементах рельефа наблюдается изменение кислотности (до  $pH$  4,9) за счет рассоления. Доля обменного натрия в составе почвенно-поглощенного комплекса в верхнем слое почв под полынными сообществами достигает 41 %, в корнеобитаемой толще – 27 %, что присуще солонцовым почвам; содержание легкорастворимых солей в слое 10–20 см максимальное – 2 %. Увеличение степени засоления почв является причиной снижения доли гумуса, содержание которого на поверхности (0–1 см) под полынными сообществами составляет 2,73 %, в слое 10–15 см – 1,89, а под злаковыми сообществами в тех же слоях – 2,86 и 2,23 % соответственно. Плотный остаток водной вытяжки в случае со злаковой растительностью в 3 раза меньше, чем под полынной.

Анализ гранулометрического состава показал преобладание фракций крупного и среднего песка только под разреженной полынной растительностью (в количестве 0,4–1,6 % с максимумом на поверхности), что свидетельствует о проявлении ветровой и водной эрозии почв. С глубиной регистрируется увеличение илистой фракции с 14,1 до 16,6 %. Под злаковой растительностью в поверхностном горизонте почвы содержание этой фракции выше – 20 %, что связано с образованием дернины, которая препятствует выдуванию и вымыванию илстых частиц. Вниз по профилю почвы отмечается уменьшение илстых частиц до 5,8–11,2 %.

В такой обстановке под монофитоценозами активизируются кислородные цианобактерии пленочного типа роста. В чрезвычайно разреженной полынной ассоциации доля пленок достигает 35,6 % проективного покрытия, а в злаковой – 16,1 % при воздушно-сухой массе 26,0 и 11,25 г/м<sup>2</sup>. Основу фототрофных микробных сообществ составляют нитчатые азотфиксирующие виды, представленные монодоминантным комплексом, а в фотической зоне почв флористическая емкость цианобактерий составляет 80 % всего видового состава микрорфотосинтетиков. Подобное формирование фототрофных микробных сообществ на поверхности засоленных почв отмечалось ранее в Приобье [21] и Барабе [22].

Сапротрофный пул микроорганизмов в почвах под всеми растительными сообщества-

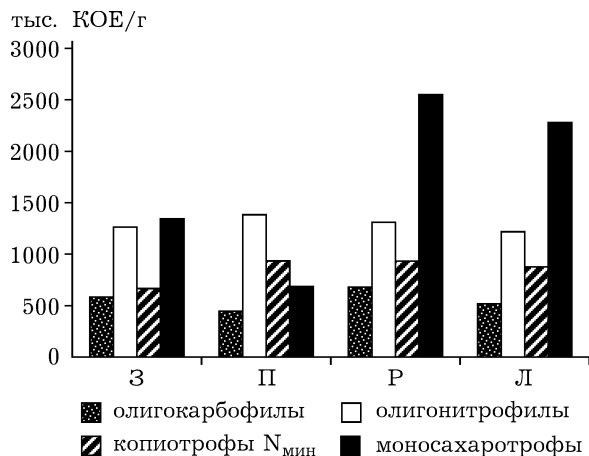


Рис. 2. Жизнеспособный пул в засоленных почвах (0–20 см). Сообщества: З – злаковое; П – полынное; Р – разнотравное; Л – лугово-болотное

ми достигает экологически значимых значений. В полу- и гидроморфных почвах существенно больше микроорганизмов, утилизирующих простые сахара (рис. 2). Сравнение послойного распределения микроорганизмов в почвах показало приуроченность копиотрофов-утилизаторов минерального азота к верхнему слою почв под полынной растительностью и к слою 10–15 см – под лугово-болотной (рис. 3). В составе экологически значимого пула копиотрофных потребителей подвижного азота (около 1 млн КОЕ/г почвы) высока доля термофилов (13–27 %). Олигонитрофильные микроорганизмы более многочисленны, а пул микромицетов также экологически значим, достигает 47,7 тыс. КОЕ/г почвы. Среди них присутствуют и фитопаразиты, которые ранее выявлены в фитоценозах первично засоленных почв [23].

В почвах под разнотравными сообществами, особенно под лугово-болотной растительностью, наблюдается резкое снижение обменного натрия – до 1,5–2,0 %, частично магния, значительное повышение кальция. Это связано с разной степенью подвижности этих обменных элементов. На долю гумуса в полугидроморфных почвах приходится 4,3–7,74 %, в гидроморфных – 6,02–7,8 %. Гранулометрический анализ показал увеличение в полугидроморфных почвах крупнопылевой фракции до 56,2 %, что свидетельствует об улучшении водно-воздушного режима. В такой ситуации кислородные фототрофные микроорганизмы характеризуются диффуз-

ным типом роста. В их составе преобладают одноклеточные зеленые водоросли, развитию которых, возможно, способствуют кислая среда обитания и доминирующая свободная двуокись углерода [15]. При нейтральных и слабощелочных значениях pH доминируют ионы угольной кислоты ( $H_2CO_3$ ) – бикарбонаты ( $HCO_3^-$ ) и карбонаты ( $CO_3^{2-}$ ). Такая фиксация углерода может иметь место в ситуациях пленочных разрастаний цианобактерий.

Сапротрофный комплекс складывается из термофильных потребителей минерального азота (71 %) и ацидофильных грибов. Соотношение олигонитрофильных микроорганизмов к олигокарбофильным (рис. 4) возрастает до 4 по мере снижения засоления и усиления кислотности.

Наибольшее количество транзитных микроорганизмов обнаруживают также полынные сообщества (см. таблицу).

Установлено достоверное снижение мигрантов с увеличением плотности травостоя.

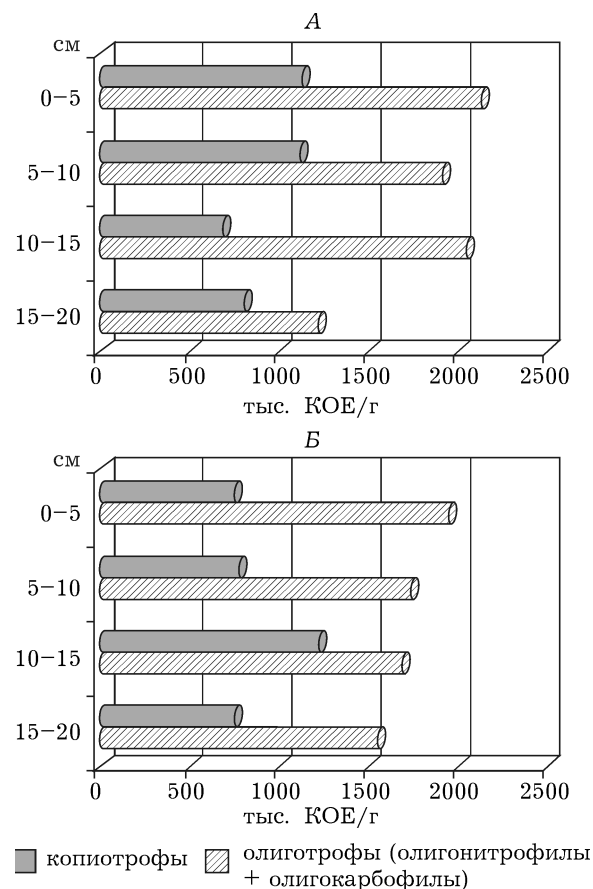


Рис. 3. Распределение микроорганизмов в засоленных почвах: А – полынное сообщество; Б – лугово-болотное сообщество

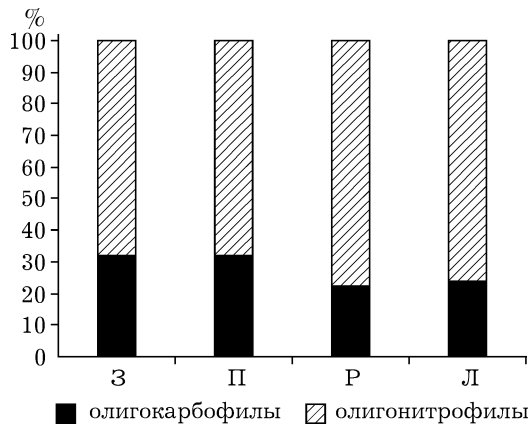


Рис. 4. Соотношение олигонитрофильных и олигокарбофильных микроорганизмов в верхнем слое засоленных почв. Сообщества: З – злаковое; П – полынное; Р – разнотравное; Л – лугово-болотное

Что касается напочвенной мезофауны, то зоогенное разнообразие членистоногих в природных засоленных почвах формируется преимущественно за счет паукообразных и насекомых. Однако их динамическая плот-

Воздушная миграция микроорганизмов в природных сообществах, тыс. КОЕ/м<sup>3</sup>

Сообщество	Моносахаро-ролитики	Целлюлозо-золитики
Выпотина без растений	41,7	41,8
Полынное	32,7	27,0*
Злаковое	30,3*	20,2*
Разнотравное	21,7*	18,6*
Лугово-болотное	20,3*	15,0*

\*Достоверно при  $P \leq 0,05$ .

ность в моносообществах чрезвычайно низкая – 1 экз./1 лов.-сут. Из жесткокрылых в полынном доминируют жуки рода *Amar*, тогда как в злаковом присутствуют также жуки родов *Harpalus*, *Pterostichus*, *Bembidion*, *Cicindela*. В лугово-болотных растительных сообществах обилие членистоногих несколько выше, а разнообразие карабидофауны прежнее. Это свидетельствует об обедненном сообществе насекомых и пауко-

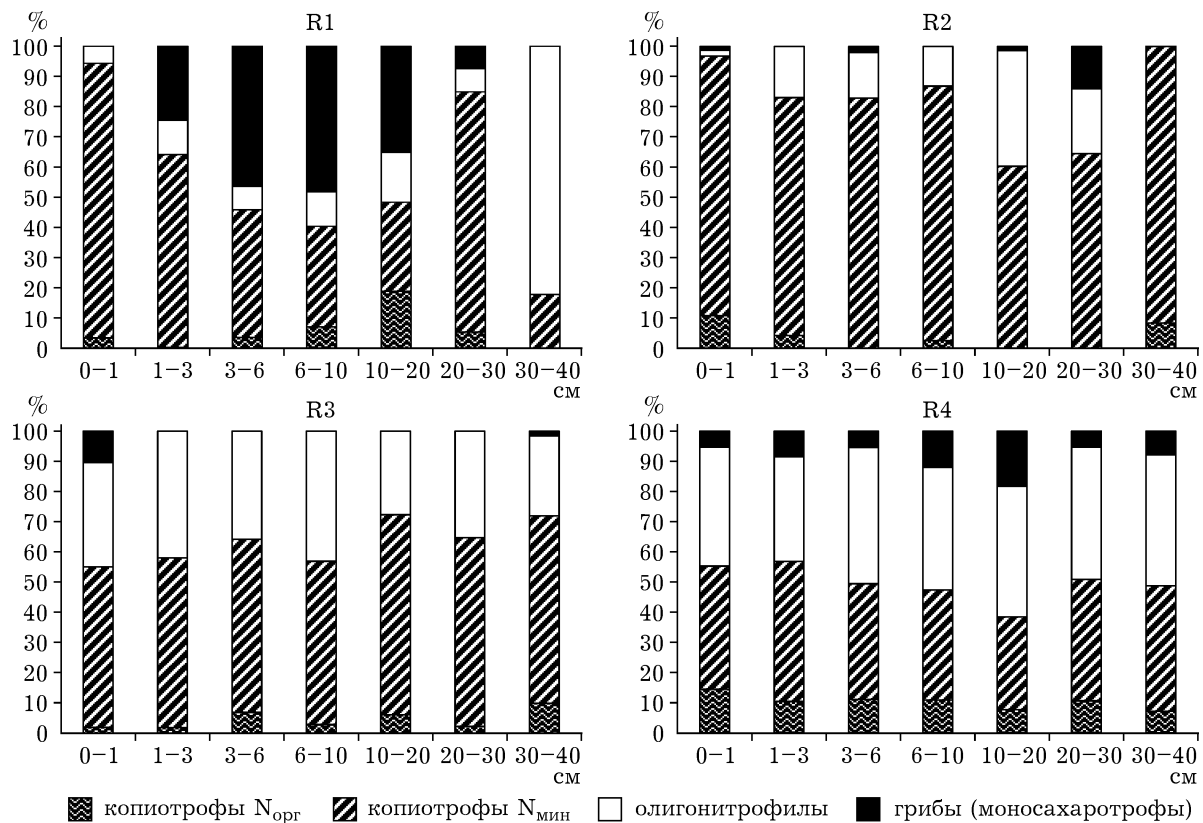


Рис. 5. Соотношение основных физиологических групп микроорганизмов в засоленных почвах лесостепной зоны (совхоз “Кабинетный”) летом: R1 – солонец луговой корково-столбчатый; R2 – луговая солонцеватая почва; R3 – солонец остепненный корковый; R4 – черноземно-луговая почва

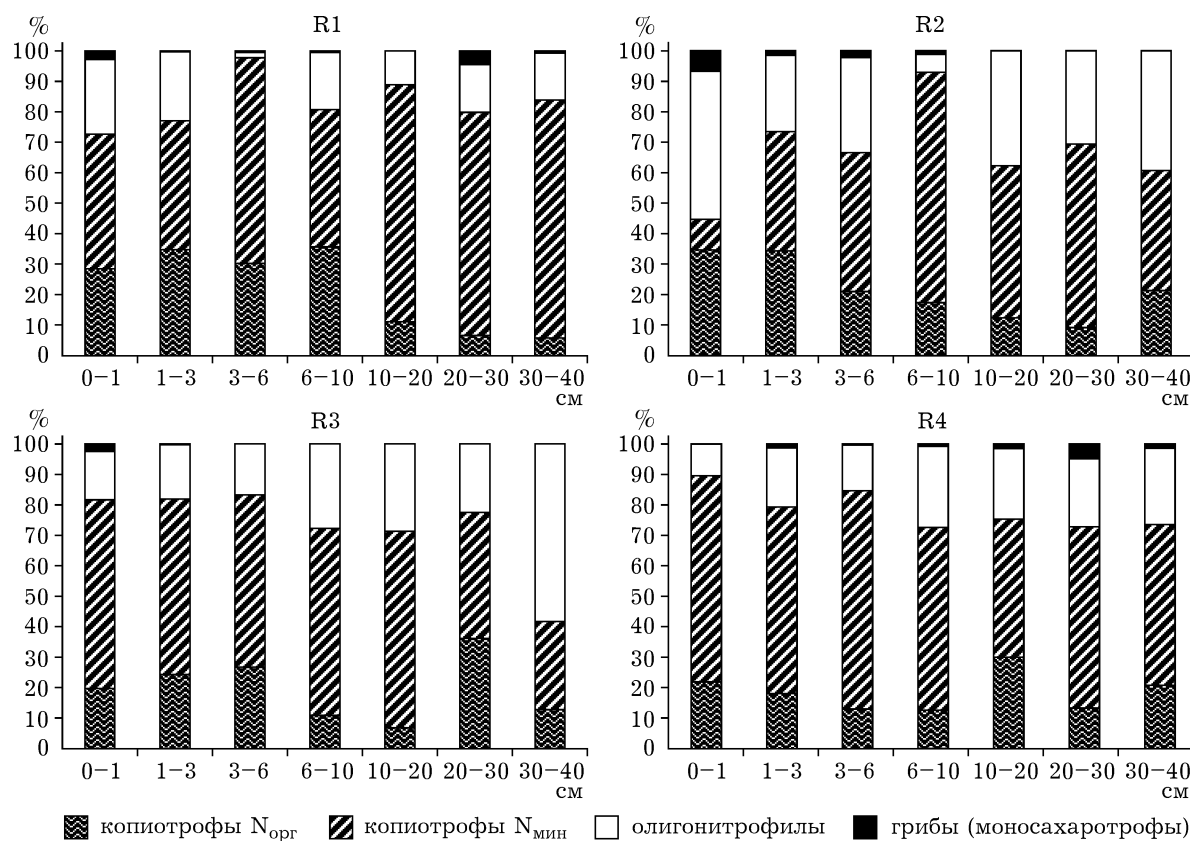


Рис. 6. Соотношение основных физиологических групп микроорганизмов в засоленных почвах лесостепной зоны (совхоз “Кабинетный”) осенью: R1 – солонец луговой корково-столбчатый; R2 – луговая солонцеватая почва; R3 – солонец остепненный корковый; R4 – черноземно-луговая почва

образных, участвующих в зоогенной деструкции растительного и животного материала.

Таким образом, техногенное воздействие в виде привноса легкорастворимых солей ухудшает физико-химические свойства городских и прилегающих природных почв: пористость, водопоглотительную способность, содержание гумуса, а фитотоксичность почв повышает. В такой обстановке на поверхности почв развивается своеобразный микробный комплекс факультативных галофильных продуцентов азотсодержащего органического вещества и их олиготрофных партнеров.

В лесостепных и степных ландшафтах, наиболее удаленных от мегаполиса, где еще выявляются исходные природные аналоги засоленных почв, но гидротермический режим напряженнее, состав и количество микроорганизмов, участвующих в биогенном закреплении азота, имеет свои особенности. Так, в условиях Барабы в основе жизнедеятельной фототрофной группировки автоморфных почв, которая приурочена исключи-

тельно к поверхности (0–6 см), преобладают цианобактерии нитчатой структуры из родов *Phormidium*, *Microcoleus*, *Tolypothrix*, *Anabaena*, *Nostoc*. Основу жизнеспособной сапротрофной группировки в почвах засоленного ряда в летнее время составляют утилизаторы минерального азота с высокой долей нитчатых бактерий. В солонце луговом корково-столбчатом представителем также пул микромицетов, в том числе рода *Penicillium*. Фитопатогенные микромицеты встречались не только на поверхности почвы, но и на листьях и стеблях растений, что оказалось причиной появления ржавчины и мучнистой росы. Выживание актиномицетов и грибов обусловлено их баро-, термотолерантностью и ксерофитностью, мицелиальной организацией талломов, позволяющей захватывать значительные пространства, осуществлять активный поиск пищи [24–27]. Пул аммонифицирующих и олигонитрофильных бактерий по профилю почв летом существенно ниже, чем в сентябре, а доля актиномицетов всегда



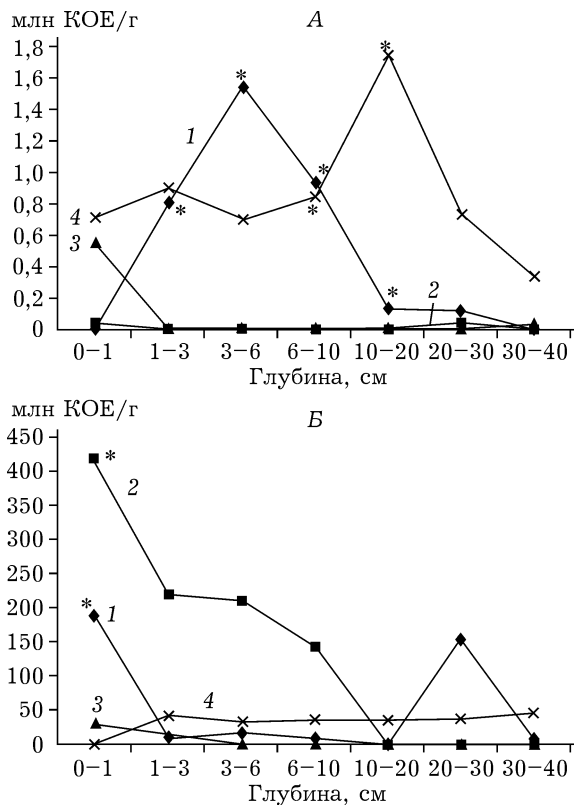


Рис. 7. Пул жизнеспособных микромицетов в засоленных почвах летом (А) и осенью (Б): 1 – солонец луговой корково-столбчатый; 2 – луговая солонцеватая почва; 3 – солонец остепненный корковый; 4 – черноземно-луговая почва. \* – достоверные изменения содержания грибов по профилю

выше (рис. 5, 6). Это подтверждает осенний всплеск микробиологической активности в солонцах [28]. В черноземно-луговой почве содержание микроорганизмов, особенно грибов, в летнее время выше, чем в солонцах, что связано с более благоприятным гидротермическим режимом. Осенью с увеличением осадков и ухудшением водно-воздушного режима запас грибов снижается (рис. 7).

В солонце луговом корково-столбчатом обнаружены благоприятные местообитания в над- и подсолонцовом горизонтах. В луговой солонцеватой почве пул бактерий приурочен к гумусовому горизонту. В солонце остепненном корковом увеличение этой группы микроорганизмов регистрируется уже в слое 6–10 см, со вторым пиком – в слое 10–20 см за счет увеличения корневой массы дерновинных злаков. Другие микроорганизмы распределены очень неравномерно по профилю, что связано с текстурной дифференциацией солон-

цов по генетическим горизонтам. Черноземно-луговая почва в летний период характеризуется высоким пулом в слое 20–30 см бактерий и грибов. Причиной такого поведения микроорганизмов является пульсирующий водно-солевой режим.

В засоленных почвах степной зоны содержание копиотрофных микроорганизмов, утилизирующих минеральный азот, летом существенно выше, чем в лесостепной, а пул микробов, обладающих олигонитрофильным типом питания, в том и другом случае низкий, но сохраняет позицию экологически значимого.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенное и природное засоление почв, проявляющееся в повышении содержания солей натрия и щелочности в среде обитания до фитотоксичных значений, характеризуется микробным закреплением минерализуемых форм азота в плазме копио- и олиготрофов. Учитывая, что значительную часть времени микроорганизмы находятся в состоянии лимитирования по азотсодержащему субстрату или голодного ожидания, в засоленных почвах развиваются виды разной стратегии: с активным поиском азотного питания, что характерно для мицелиальной организации тела (актиномицеты, грибы), и диссипотрофных видов с биологической спецификой медленного роста и энергоэкономным метаболизмом (микробиота рассеяния). Дефицит азотного питания частично компенсируется привнесением азота, фиксированного из атмосферы цианобактериями. На поверхности почв формируются факультативно-симбиотрофные ассоциации цианобактерий и олигонитрофилов, ниже по профилю – актиномицетов и олигонитрофилов. Экологический смысл таких взаимодействий заключается, скорее всего, в экономии запаса азотистых соединений, растворимых в воде, путем микробной иммобилизации подвижных форм, в том числе их чрезвычайно низких концентраций. Среди выявленных грибов характерно преобладание меланиновых форм, наиболее защищенных от стрессовых факторов (солености, света, температуры), и продуцентов антибиотиков, которые в присутствии хлорида натрия активно выделяются в окружающую среду. Экофизиологическое разнообразие мик-

робиоты (с признаками фото-, сапро-, олиготрофии, термо-, алкало-, ацидо-, галофилии) в экстремальной обстановке техногенного засоления свидетельствует о реализации микробиологической буферности почв в ответ на отклонение природной экосистемы от нормального функционирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаевский В. С., Якубов Х. Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений в крупном городе. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2008.
2. Сысо А. И., Артамонова В. С., Сидорова М. Ю. и др. Загрязнение атмосферы, снегового и почвенного покрова г. Новосибирска // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 663–669.
3. Бортникова С. Б., Гаськова О. Л., Бессонова Е. П. Геохимия техногенных экосистем. Новосибирск: Академическое изд-во "ГЕО", 2006.
4. Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984.
5. Намсараев З. Б., Горленко В. М., Намсараев Б. Б. и др. Микробные сообщества щелочных гидротерм. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006.
6. Базилевич Н. И. Геохимия почв содового засоления. М.: Наука, 1965.
7. Курачев В. М., Рябова Т. Н. Засоленные почвы Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981.
8. Дитц Л. Ю. Методологические аспекты ландшафтно-индикационного изучения почвенного покрова (на примере Барабинской лесостепи). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003.
9. Гантимуров И. И. Вопросы охраны природы Западной Сибири. Новосибирск, 1960.
10. Оборин А. И. Мелиорация солонцов в лесостепном Зауралье. Пермь, 1962.
11. Михайличенко В. Н. Галогенез и осолонцевание почв равнин Северного Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1979.
12. Семендяева Н. В. Мелиорация и использование солонцов в Сибири. Новосибирск, 1984.
13. Елизарова Т. Н. Экологические основы мелиорации солонцовых почв. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991.
14. Еремченко О. З. Природно-антропогенные изменения солонцовых почв в Южном Зауралье. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1997.
15. Саут Р., Уиттик А. Основы альгологии. М.: Мир, 1990.
16. Большев Н. Н. Водоросли и их роль в образовании почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968.
17. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969.
18. Леонова В. В. Водоросли почв засоленного ряда и их участие в солонцовом процессе. Новосибирск, 1983.
19. Домрачева Л. И. "Цветение" почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2005.
20. Кондакова Л. В., Домрачева Л. И. Флора Вятского края. Киров: ОАО "Кировская областная типография", 2007.
21. Артамонова В. С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002.
22. Куксн М. С. Структура, функционирование и эволюция системы биогеноценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974.
23. Енкина Т. В. Патогенные микромицеты. Структура, функционирование и эволюция системы биогеноценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974.
24. Клевенская И. Л. Вопросы освоения целинных и залежных земель Западной Сибири. Новосибирск: Кн. изд-во, 1957.
25. Клевенская И. Л. Микрофлора южных черноземов Кулундинской степи. М., 1961.
26. Клевенская И. Л. Микрофлора почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1970.
27. Гантимурова Н. И. Микрофлора почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1970.
28. Ильин В. Б. Вопросы освоения целинных и залежных земель Западной Сибири. Новосибирск: Кн. изд-во, 1957.

## Technogenic Salinization of Soils and Their Microbiological Characteristics

V. S. ARTAMONOVA, L. Yu. DITZ, T. N. ELIZAROVA, I. V. LYUTYKH

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS  
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18  
E-mail:artamonova@issa.nsc.ru*

The soil-microbiological investigation of technogenically polluted soils revealed the space-time structure of microbial communities. The basic microbiological indicators of the degree of technogenic pollution and natural salinization were revealed. The stability of separate microorganism species is noted, depending on the soil-ecological conditions.

**Key words:** soil salinization, pollution, microbes, cyanobacteria, fungi, mesophauna.