

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2018

Том 1. Выпуск 3

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 72325 — сетевое издание от 14 февраля 2018 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес издателя и редакции: 630090, Россия, Новосибирская область, г.Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, ИПА СО РАН, тел. +7 (383) 3639035, e-mail: redactor@soils-journal.ru, сайт: <https://www.soils-journal.ru>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Титлянова Аргента Антониновна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Заместители главного редактора

Дергачева Мария Ивановна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Дюкарев Анатолий Григорьевич - кандидат биологических наук, доктор географических наук, заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Мордкович Вячеслав Генрихович - доктор биологических наук, главный научный сотрудник ФГБУН Институт систематики и экологии животных СО РАН

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, зав.лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Члены редколлегии

Сысо Александр Иванович - доктор биологических наук, заведующий лабораторией биогеохимии, директор ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Андроханов Владимир Алексеевич - доктор биологических наук, заведующий лабораторией рекультивации почв, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Добротворская Надежда Ивановна - доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией рационального землепользования Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН.

Кирпотин Сергей Николаевич - доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального Исследовательского Томского государственного университета

Гольева Александра Амуриевна - доктор географических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт географии РАН, председатель Российской ассоциации фитолитологов

Кулижский Сергей Павлович - доктор биологических наук, проректор по социальным вопросам ФГБУВПО Национального Исследовательского Томского государственного университета

Гопп Наталья Владимировна - кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории генезиса и географии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Ермолов Юрий Викторович - кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Кудряшова Светлана Яковлевна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Танасиенко Анатолий Алексеевич - доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Лойко Сергей Васильевич - кандидат биологических наук, заведующий почвенным музеем, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды Национального Исследовательского Томского государственного университета

Миropyчева-Токарева Нина Петровна - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией биогеоэкологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Смоленцев Борис Анатольевич - кандидат биологических наук, заведующий лабораторией географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Фотев Юрий Валентинович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции пищевых растений ФГБУН Центральный сибирский ботанический сад СО РАН

Якутина Ольга Петровна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Беланов Иван Петрович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Содержание

- Кудряшова С.Я.**
От редколлегии 106

Эволюция почв и динамика экосистем

- Титлянова А.А., Шибарева С.В.**
Роль стационара Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР «Карачи» в работах по Международной биологической программе (1968-1974 гг.) 107

Плодородие почв и минеральное питание растений

- Алиева К.А.**
Влияние различных доз азотных удобрений на продукцию томата и агрохимические свойства серо-бурой почвы на Абшеронском полуострове (Азербайджан) 118
- Якутина О.Н., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В.** 126
Плодородие почв склона, структура и качество урожая яровой пшеницы на юге Западной Сибири

Классификации почв и применение математических методов

- Рожков В.А.** 143
Оценка информативности почвенных признаков

Биология и биохимия почв

- Наумова Н.Б., Аликина Т.Ю., Кузнецова Г.В.** 151
Биоразнообразие бактериальных ансамблей в бурозёме элювиированном под сосной корейской

Антропогенные, агрогенные и городские почвы

- Сорокина О.А.** 170
Оценка запасов фитомассы и плодородия серых почв залежей

Физика и гидрология почв

- Зайцева Р.И., Фрид А.С.** 180
Измерение осмотического давления почвенного раствора криоскопическим методом и его метрологическая характеристика

Юбилеи и памятные даты

- Гаврилов Д.А., Климова Н.В., Лада Н.Ю., Сперанская Н.Ю.** 187
Гольева Александра Амуриевна (к 60-летию со дня рождения)

ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Уважаемые коллеги и читатели журнала “Почвы и окружающая среда”!

Предлагаем Вашему вниманию очередной номер, который содержит обзоры научных исследований и описание результатов экспериментальных работ по актуальным проблемам почвоведения и агрохимии.

Приблизительно 100 лет назад начали появляться первые региональные системы классификации почв. С тех пор активное обсуждение и попытки выработки единых подходов к классификации, а также единой глобальной таксономии почв, однозначно понятной в любом уголке мира, не затухают. Примером первых является статья чл.-корр. РАН В.А. Рожкова в этом номере журнала о необходимости оценивать информативность почвенных признаков для решения задач классификации почв. Примером перехода на единый номенклатурный язык является все более широкое применение, наряду с национальной номенклатурой, наименования почв по Мировой реферативной базе почвенных ресурсов (WRB 2014), к чему мы призываем и авторов нашего журнала.

Концепция катены и катенарный подход в почвенных исследованиях появились и стали распространяться в 20–40-х годах прошлого века. Опубликованная в этом номере статья О.П. Якутиной с соавторами, посвященная изучению плодородия почв в зависимости от их положения в рельефе, представляет интересные результаты, полученные именно на основе катенарного подхода.

Физические свойства почв занимают важное место в почвенных исследованиях и концепциях уже более 200 лет, то есть приблизительно с момента развития представления о почве как о выветренном слое материнской горной породы, являющейся субстратом для растений. В статье Р.И. Зайцевой и А.С. Фрида описано измерение криоскопическим методом осмотического давления почвенного раствора с градиентом содержания солей, в результате которого были установлены статистические закономерности для оценки воспроизводимости опытных измерений.

Оценка плодородия почв представляет интерес для земледельцев практически с момента зарождения растениеводства. Огромное число исследований различных аспектов взаимодействия в системе «почва-растение» под влиянием разнообразных агротехнических приемов привело к четкому пониманию того, что плодородие почв определяется сложной игрой множества локальных факторов, которая, в свою очередь, определяет интригу любых агрохимических опытов и их результатов. Описанию результатов опыта с целью изучения влияния различных систем удобрений на продукцию такой глобально значимой культуры, как томат, посвящена статья К.А. Алиевой из Азербайджана, а оценке плодородия серых почв залежей в лесостепи Красноярского края посвящена статья О.А. Сорокиной

Как известно, почва является самым большим резервуаром биологического разнообразия на планете. В статье Н.Б. Наумовой, посвященной результатам метагеномного исследования биоразнообразия бактериальных ансамблей, содержится новая информация о выявленном значительном доминировании несимбиотических азотфиксаторов в почве лесных экосистем.

Интересный пример действительно масштабной научной интеграции, как по числу участников, так и в содержательно-научном плане, приводят А.А. Титлянова и С.В. Шибарева в статье, описывающей научные достижения стационара “Карачи” Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР, который в числе более 450 стационаров и станций по всему миру принимал участие в выполнении работ Международной биологической программы (1968–1974) по изучению наземных сообществ во всех природных зонах земного шара.

Таким образом, содержание номера, охватывая небольшую группу из всего спектра актуальных для современной науки о почве тем, представляет читателям широкий градиент концептуального видения, опыта проведения экспериментов и интерпретации полученных результатов.

Кудряшова С.Я.,
к.б.н., Институт почвоведения агрохимии СО РАН

doi: 10.31251/pos.v1i3.19

**РОЛЬ СТАЦИОНАРА ИНСТИТУТА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО АН СССР
«КАРАЧИ» В РАБОТАХ ПО МЕЖДУНАРОДНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ
(1968-1974)**

© 2018 А.А. Титлянова, С.В. Шибарева

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

Стационар «Карачи» Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР, организованный в 1968 году, работал по основным направлениям Международной Биологической Программы. Объектом изучения была катена, в элювиальной позиции которой находилась степь, в аккумулятивной – болото. Изучено семь экосистем, расположенных на катене. Оценивалось количество углерода, азота и зольных элементов, поступающих в экосистемы с дождем и снегом. Изучалась миграция химических веществ с водами поверхностного стока в различных биогеоценозах. Установлено, что интенсивность миграции нарастает вниз по катене, элювиальный ландшафт имеет положительный баланс солей, трансэлювиальный ландшафт теряет, а аккумулятивный – накапливает вещества, включая азот и углерод. Исследовалась вертикальная миграция и баланс химических веществ в почвах. Изучение биологического круговорота показало его высокую емкость. Интенсивность круговорота превышает ежегодную миграцию различных элементов с водами в 10–100 раз. Биологический круговорот является главным механизмом перераспределения С между атмосферой и почвой, а таких элементов как N, K, Ca – между почвой и растением.

Ключевые слова: Международная Биологическая Программа, Барабинская низменность, катена, эволюция почв, растительный покров, горизонтальное и вертикальное движение воды и химических элементов, блок-схема обменных процессов, биологический круговорот.

Цитирование: Титлянова А.А., Шибарева С.В. Роль стационара Института почвоведения и агрохимии СО АН СССР «Карачи» в работах по Международной Биологической Программе (1968-1974) // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С. 107 – 117.

Международная Биологическая Программа (МБП), главной целью которой была оценка фитомассы и продуктивности всех наземных и водных объектов Земли, проводилась с 1964 по 1974 гг. В работах по МБП участвовали 58 стран (еще 33 страны проводили отдельные исследования).

Советский союз был одним из участников данной программы, в связи с чем на его территории были созданы специальные стационары МБП в тундрах, в северной, средней и южной тайге, в степях, лугах и пустынях.

В лесостепной зоне СССР были организованы два опорных травяных стационара. Один располагался в луговой степи Курской области, второй, «Карачи», находился в лесостепной зоне Западной Сибири и был приурочен к Барабинской низменности, к ее низкой структурно-геоморфологической ступени – Причановской депрессии (рис.1). Земли до создания стационаров использовались в основном как пастбища.

С 1968 по 1974 гг. на стационаре «Карачи» проводились комплексные исследования, в которых кроме Института почвоведения и агрохимии СО РАН принимали участие Центральный сибирский ботанический сад СО АН СССР, Почвенный институт им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ, Новосибирский государственный университет, Новосибирский государственный педагогический институт, Убинская опытно-мелиоративная станция. Руководителями работ были директор ИПА СО АН СССР д.с.-х.н. Р.В. Ковалев, д.с.-х.н. Н.И. Базилевич (Почвенный институт им. В.В. Докучаева) и д.б.н. А.В. Куминова (ЦСБС СО АН СССР).

В соответствии с основными направлениями МБП задачами исследований на стационаре являлись:

- получение величин, характеризующих запасы фитомассы и чистую первичную продукцию биогеоценозов изучаемых ландшафтов;
- изучение почв как функциональной единицы биогеоценоза. Раскрытие генезиса почв и сущности современных почвенных процессов;
- количественное описание круговорота веществ в пределах отдельных биогеоценозов и между биогеоценозами в ландшафте;
- прогнозирование общего направления эволюции биогеоценозов и типов почв.

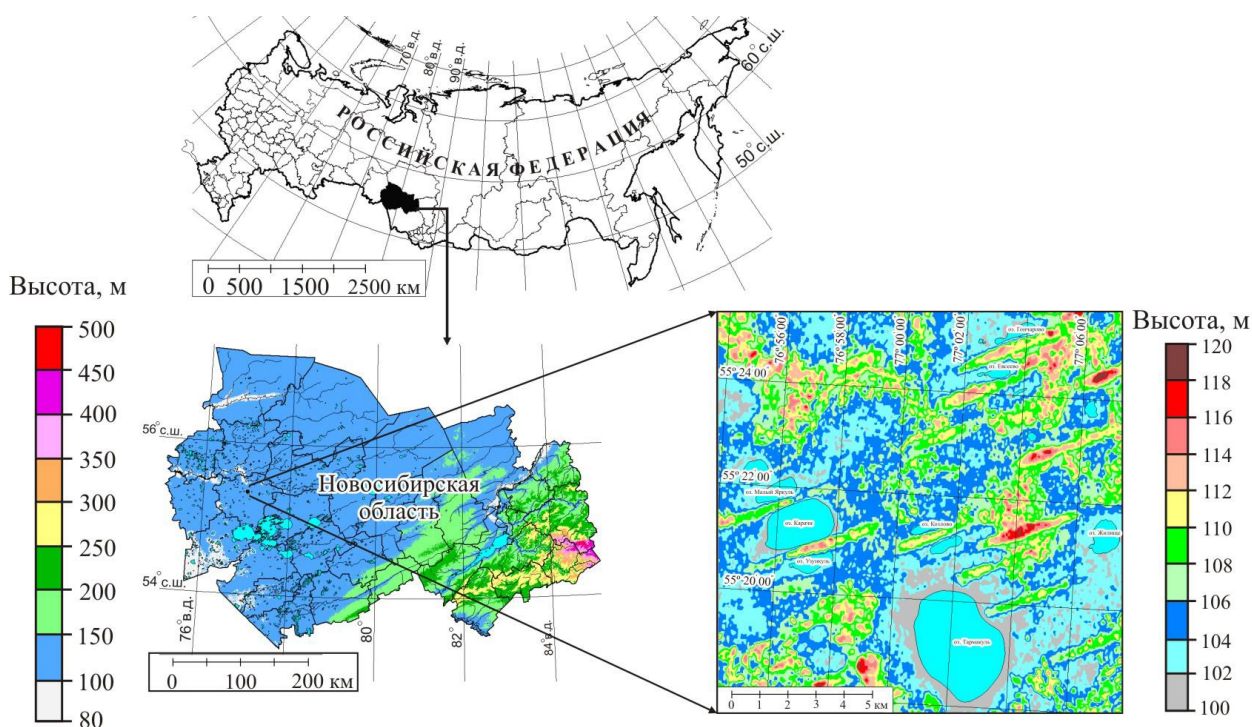


Рисунок. 1. Карта расположения стационара «Карачи»

Исходя из поставленных задач, для проведения исследований была выбрана геоморфологическая катена (участок, заключенный между древним приозерным валом и болотом, переходящим в озеро Гончарово). Протяженность катены – 700 м, разница высот между вершиной древнего приозерного вала и его основанием – около 1,5 м.

Комплексные исследования были согласованы по всем разделам МБП по времени и проводились на строго фиксированных точках-площадках, отражающих основные типы биогеоценозов (рис. 2). Подробные исследования проводились на точках 33 и 38, а также на точке 12 (луговая степь на обыкновенном черноземе), расположенной на катене с незасоленными почвами.

Водная миграция элементов в значительной степени определяется количеством выпадающих осадков, их распределением по катене и химическими свойствами элементов, поступающих с осадками (табл. 1).

Поступление осадков в почвы различных биогеоценозов довольно близко для всех почв кроме торфяно-болотной. Годичное количество осадков – 330–350 мм, часть выпадает со снегом (около 30%). Осадки приносят значительное количество углерода (до 40 кг/га), очень мало азота (меньше 4 кг/га), достаточно много сульфатного иона, много кремния и мало железа и алюминия. Увеличение поступления элементов в болотные экосистемы обусловлено повышением количества снега, который сдувается в низины из экосистем, лежащих выше. В результате торфяно-болотные почвы получают с осадками в полтора-два раза больше углерода, азота и минеральных элементов.

В статье невозможно даже вкратце остановиться на всех результатах, полученных за семь лет работы стационара. В связи с этим мы проанализируем лишь процессы миграции химических элементов: водную миграцию и изменение ее интенсивности и химизма по катене (табл. 2); вертикальную миграцию элементов по почвенному профилю с просачивающимися водами (табл. 3); круговую миграцию – атмосфера → почва → растения → почва → атмосфера (табл. 4, 5), которую обычно называют биологическим круговоротом.

Вынос химических веществ с летнее-весенним стоком невелик в биогеоценозах, где почвы переувлажнены практически в течение всего вегетационного периода, в связи с чем имеют густой сплошной травостой, препятствующий контакту поверхностных вод с минеральными горизонтами почв (т. 35). Велик вынос органического вещества с луговых корковых солонцов (т. 34).

Соотношение поступления и выноса химических веществ с водами поверхностного стока в различных биогеоценозах складывается по-разному. Отрицательный суммарный баланс характерен для биогеоценозов автономных (т. 12, 31) и трансэлювиальных ландшафтов (т. 32, 33).

Баланс химических веществ, в том числе солей, положителен на луговых корковых солонцах, формирующихся на плоской поверхности третьей приозерной террасы (т. 34), а также в луговой осолоделой солонцевато-солончаковой почве второй приозерной террасы (т. 35).

Таблица 1

Поступление химических веществ с атмосферными осадками в почвы разных биогеоценозов (среднеголетние данные), кг/га в год

Вид осадков	Количество осадков, мм	C	N	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ + K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Si ⁺⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	Al ⁺⁺⁺
Чернозем обыкновенный, т. 12											
Дождь	270	29,9	3,0	24,2	18,8	10,8	16,2	2,7	10,8	1,9	0,6
Снег	75	8,8	0,5	3,8	5,2	5,3	3,8	0,8	3,0	0,5	0,2
Всего	345	38,7	3,5	28,0	24,0	16,1	20,0	3,5	13,8	2,4	0,8
Солонец среднестолбчатый лугово-степной, т. 31											
Дождь	265	29,0	2,9	23,8	18,5	10,6	15,9	2,7	10,6	1,9	0,6
Снег	80	8,9	0,8	4,0	5,6	5,6	4,0	0,8	3,2	0,6	0,2
Всего	345	37,9	3,7	27,8	24,1	16,2	19,9	3,5	13,8	2,5	0,8
Черноземно-луговая почва, т. 33											
Дождь	272	30,0	3,0	24,4	19,0	10,8	16,3	2,7	11,1	1,9	0,6
Снег	65	7,2	0,6	3,3	4,6	4,6	3,3	0,7	2,6	0,5	0,1
Всего	337	37,2	3,6	27,7	23,6	15,4	19,6	3,4	13,7	2,4	0,7
Солонец луговой корковый, т. 34											
Дождь	272	30,0	3,0	24,4	19,0	10,8	16,3	2,7	11,1	1,9	0,6
Снег	64	7,1	0,6	3,3	4,6	4,5	3,2	0,6	2,6	0,4	0,1
Всего	336	37,1	3,6	27,7	23,6	15,3	19,5	3,3	13,7	2,3	0,7
Луговая осолоделая почва, т. 35											
Дождь	274	30,2	3,2	24,6	19,2	10,9	16,4	2,7	11,0	1,9	0,6
Снег	88	9,7	1,0	4,4	6,2	6,2	4,4	0,9	3,5	0,6	0,2
Всего	362	39,9	4,2	29,0	25,4	17,1	20,8	3,6	14,5	2,5	0,8

Таблица 2

Миграция (вынос) химических веществ с водами поверхностного стока в различных биогеоценозах (среднеголетние данные), кг/га в год

C	N	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Si ⁺⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Mg ⁺⁺
Чернозем обыкновенный, т. 12										
163,1	6,1	13,9	0,5	1,4	3,9	3,8	81,8	3,6	6,8	0,5
Солонец среднестолбчатый лугово-степной, т. 31										
154,9	5,9	39,1	27,7	1,7	13,5	3,8	0,6	2,0	1,5	12,2
Черноземно-луговая почва, т. 33										
870	32,9	372,9	206,9	23,7	291,0	24,8	150,3	19,7	21,0	29,6
Солонец луговой корковый, т. 34										
772,0	30,5	410,0	81,8	18,9	60,0	24,3	131,0	11,6	12,8	38,0
Луговая осолоделая почва, т. 35										
390,0	20,6	339,0	125,0	28,7	73,8	17,6	101,1	9,9	11,8	21,6

По: (Базилевич, 1976).

Таблица 3

Баланс химических веществ в почвах элементарных ландшафтов

Горизонт	Глубина, см	C	N	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	Na ⁺
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чернозем обыкновенный, т. 12								
A	0–20	-127,4	-2,8	+7,3	+9,0	-2,9	-1,4	+9,5
B ₁	20–35	+1,3	+0,2	-2,3	+0,1	+0,1	0	-3,2
Солонец среднестолбчатый лугово-степной, т. 31								
A	0–12	-130,2	-2,5	-50,4	+6,2	-4,3	-4,6	-57,1
B ₁	12–30	+5,0	+0,1	-4,6	-0,3	+0,5	+4,4	-16,8

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черноземно-луговая почва, т. 33								
А	0–23	-690,8	-26,4	-558,8	+6,4	-33,0	-17,0	-262,4
В	23–40	-1,6	+1,7	-17,1	+0,4	+10,3	+0,1	-39,7
Солонец луговой корковый, т. 34								
Адк	0–3	+118,0	-4,0	-434,4	-3,7	-5,1	+6,2	-27,1
В _{1к}	3–15	+0,4	+1,6	+198,9	-1,5	+2,0	+3,0	+98,7
Луговая осолоделая почва, т. 35								
Ад	0–4	+212,4	+10,7	-680,8	+2,3	-19,7	-234,6	-383,9
А ₂	4–6	-328,9	+2,0	-104,7	+2,2	-26,9	+80,6	-233,3
Торфяно-болотная почва, т. 38								
А _т	0–20	+267,0	+17,9	+224,9	+33,3	-18,8	+16,2	-46,8
А ₁ А ₂	20–35	+77,5	+1,9	-120,3	-28,3	-28,8	+0,8	-65,9

По: (Базилевич и др., 1976)

Привнос химических веществ с водами поверхностного стока в заболоченные понижения и западины весьма существенен: солей (главным образом, бикарбонатов Na, отчасти сульфатов и хлоридов Na) – до 600 кг/га, других минеральных веществ, включая взвеси, – 250–300 кг/га, органических веществ – до 400 кг/га, азота – 15–20 кг/га.

Приведенные материалы свидетельствуют о существенной роли вод поверхностного стока в перераспределении как солей, так и других химических веществ в системе геохимически сопряженных в ландшафте биогеоценозов, что обуславливает особенности геохимии их солей, направленности почвообразования.

Рассматривая вертикальную миграцию, мы в данной статье остановились лишь на двух горизонтах – горизонте А, который впитывает осадки и воду поверхностного стока и одновременно отдаёт элементы питания (N, K, Ca) растениям, и горизонте В, который в основном сорбирует вымываемые из горизонта А элементы.

Углерод в больших количествах вымывается из горизонта А чернозема обыкновенного, среднестолбчатого солонца и черноземно-луговой почвы и накапливается в том же горизонте солонца коркового, луговой осолоделой и торфяно-болотной почв. В большинстве почв горизонт В в небольших количествах теряет или накапливает С. Особняком стоят луговая осолоделая почва, где приход С в горизонт Ад меньше оттока из горизонта А₂, и торфяно-болотная почва, удерживающая С в обоих горизонтах до глубины 35 см.

Азот в небольших количествах вымывается из горизонта А почти во всех почвах и накапливается в горизонте В. В луговой осолоделой и торфяно-болотной почвах он задерживается во всей толще. Азот жизненно необходим растениям, и почвы его берегут.

Бикарбонат-ионы, как и натрий, в основном вымываются в более глубокие горизонты почвы и далее в грунтовые воды – идет рассоление почв. Калий в основном накапливается в почвах, в то время как кальций вмывается из горизонта А в горизонт В большинства почв и вымывается в грунтовые воды из луговой осолоделой и торфяно-болотной почв. Железо в основном вмывается в горизонт В.

В целом баланс химических элементов в почвах катены свидетельствует о рассолении почв и переходе их в менее гидроморфную стадию (Базилевич, 1976).

Для исследования биологического круговорота надо было разделять мертвую и живую части фитомассы. Эта операция не вызывает затруднений для наземной части фитоценоза, но, с первого взгляда, кажется невозможной для подземных органов. Однако Т.А. Вагина и Н.Г. Шатохина после ряда исследований овладели данной операцией и определили запасы живых и мертвых подземных органов растений практически для всех фитоценозов катены (Вагина, Шатохина, 1976). Результаты их работы позволили перейти к изучению процессов биологического круговорота.

В биологическом круговороте внутри фитоценоза совершаются процессы входа элементов, перераспределения потребленных элементов от одних компонентов к другим и выхода из круговорота. Приведем пример баланса углерода (табл. 4).

Таблица 4

Бюджет углерода в экосистеме мезофитного луга (23.V.1970 – 22.V.1971)

Статья бюджета	С, кг/га в год
Всего потреблено фитоценозом	13680
Потреблено надземными органами	1620
Потреблено подземными органами	12060
Выщелочено осадками из надземных органов	100
Возвращено в почву при разложении подстилки	100
Возвращено в атмосферу при разложении подстилки	1260
Возвращено в атмосферу и почву при разложении мертвых подземных органов	9600
Всего возвращено в атмосферу и почву	11060

Примечание. Под потреблением С понимаем чистую первичную продукцию (т.е. разность между интенсивностями фотосинтеза и дыхания); в статью «всего возвращено» не входит дыхание зеленой фитомассы и живых подземных органов (Титлянова, 1979).

Потребление углерода из атмосферы надземными органами фитоценоза очень велико – 13,7 т/га в год. Из этого количества 88% углерода в виде фотосинтетатов дислоцируются в подземные органы, которые быстро отмирают и создают пул мертвой подземной фитомассы. В течение сезона идет активная минерализация подземных растительных остатков. Наряду с минерализацией происходит накопление прогумуса, со временем превращающегося в гумус. Новообразованный гумус компенсирует потерю почвенного углерода с поверхностным стоком. Мы до сих пор не знаем соотношение интенсивностей процессов минерализации и гумусообразования. Вероятно, доля углерода, уходящего в гумус, не превышает 5–10% от доли С, выделяющегося в виде CO₂ в атмосферу. Бюджет других химических элементов приведен в таблице 5.

Таблица 5

Бюджет химических элементов (23.V.1970 – 22.V.1971), кг/га в год

Элемент	Всего потреблено из почвы	Перешло		Закреплено в ветоши	Возвращено в почву				Всего
		из подземных органов в надземные	из надземных органов в подземные		Выщелочено осадками из надземных органов	Выделено прижизненно из подземных органов	Высвобождено при разложении		
							подстилки	подземных органов	
Si	792,7	135,4	0,0	140,4	0,0	25,3	146,5	521,0	692,8
Ca	480,2	172,0	0,0	17,4	0,0	16,0	26,4	371,0	413,4
N	384,7	46,1	1,0	30,8	8,2	0,0	21,2	278,4	307,8
Mg	227,5	13,9	0,0	11,3	3,6	0,0	14,6	208,5	226,7
K	212,7	47,8	7,4	17,6	23,7	14,0	15,3	74,0	127,0
Al	188,0	2,7	0,0	2,9	0,0	0,0	14,0	114,3	128,4
Fe	142,9	2,1	0,0	2,2	0,0	0,0	10,1	105,8	115,9
Na	62,9	5,8	1,8	3,2	1,0	11,0	5,7	26,5	44,2
S	31,2	4,0	0,0	3,1	1,1	0,0	3,1	24,1	28,3
Cl	26,2	13,8	0,0	3,8	10,4	0,2	3,7	9,7	24,0
P	21,1	4,8	0,0	3,1	1,8	1,8	3,4	14,1	21,1
Mn	5,9	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	5,4	5,7

По: (Титлянова, 1979)

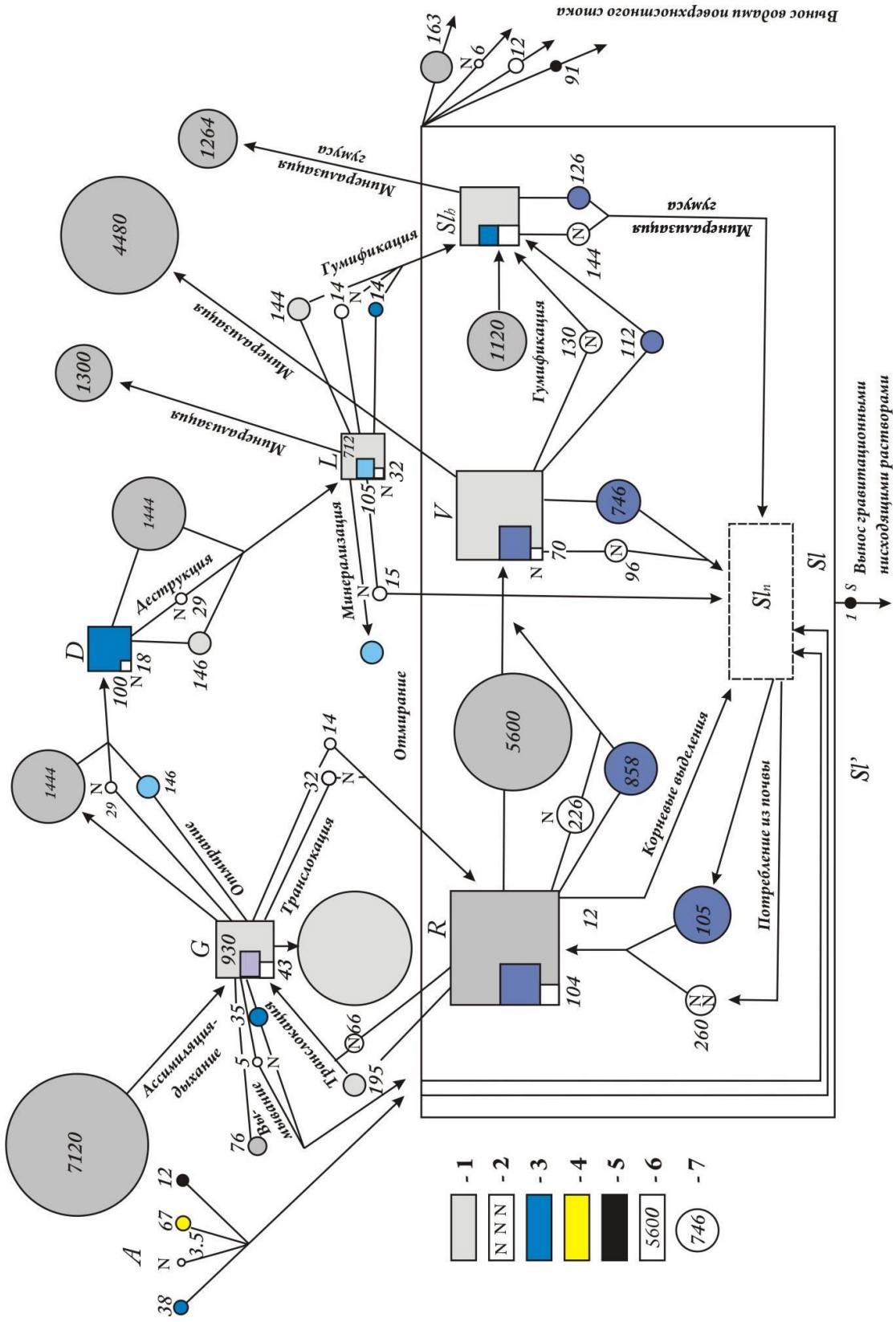


Рисунок 3. Процессы обмена химическими элементами в биогеоценозе луговой степи. **A** – атмосфера; **G** – зеленая фитомасса; **D** – подстилка; **L** – подстилка; **R** – живые подземные органы; **V** – мертвые подземные органы; **S_l** – почва; **S_h** – гумус почвы; **S_h** – резерв питательных элементов почвы; **S_l** – подпочва. **1** – углерод; **2** – азот; **3** – совокупность элементов, входящих в состав легкорастворимых солей **S**; **5** – совокупность элементов, входящих в подвижные обменных процессов (кг/га в год). Запасы в блоках **G**, **R**, **D**, **L**, **V** даны в одном масштабе, в блоке **S_h** масштаб уменьшен в 10 раз, в блоках **A**, **S_l**, **S_h**, **S_h** – без масштаба.

Наибольшее потребление зафиксировано для кремния. Поскольку травостой злаковый, а концентрация Si в злаках велика – этот элемент доминирует и в травостое и в подземных органах. Потребление N и K меньше, чем аккумулятивное Ca, который концентрируется в основном в подземных органах. Необходимо иметь в виду, что значительное количество питательных элементов остается на зиму в живых подземных органах.

Отметим характерную черту Al и Fe, которые на 80% закреплены в корнях. Еще Т.В. Аристовская (1975) предположила, что Al, Fe и Mn с помощью бактерий образуют налеты на корнях и даже трубочки вокруг корней. Эти трубочки можно увидеть под микроскопом, соблюдая осторожность, так как ломкие корни прочно соединены с почвенными частицами. В подземной сфере биотические процессы тесно связаны с абиотическими, и мы чаще всего не знаем, где проходит граница между подземными органами растений и почвой.

Благодаря совместным работам с членом-корреспондентом АН СССР А.А. Ляпуновым были построены блок-схемы обмена химических элементов для нескольких наиболее детально изученных экосистем (Ляпунов, Титлянова, 1974). Подобные схемы являлись основой для построения математических моделей функционирования биогеоценозов. Приводим блок-схему для луговой степи (Титлянова, Базилевич, 1976).

Отдельно рассматривается круговорот углерода, азота, совокупность других элементов, входящих в состав растений, совокупность элементов, входящих в состав легкорастворимых солей, совокупность элементов, входящих в подвижные соединения.

В наших работах для характеристики поведения элементов в системах биотических и абиотических процессов был введен показатель абиотичности, который рассчитывается как отношение суммы интенсивностей входных (или выходных) абиотических процессов к интенсивности потребления элемента фитоценозом. В таблице 6 приведены показатели абиотичности только для суммы входных процессов.

Интенсивность биотического круговорота превышает ежегодную миграцию различных элементов с водами в 10–100 раз. Биологический круговорот является главным механизмом перераспределения углерода между атмосферой и почвой, а таких элементов как N, K, Ca – между почвой и растениями. Следует специально отметить, что биологический круговорот обеспечивает непрерывное движение атомов по круговым траекториям, в то время как водная миграция (поверхностный сток) непрерывно работает в одном направлении – сверху вниз по катене.

Таблица 6

Показатели абиотичности

Позиция, экосистема	C	N	S*	m**
Элювиальная, луговая степь на черноземе обыкновенном	0,05	0,01	0,49	0,03
Трансэлювиальная, мезофитный луг на черноземно-луговой почве	0,02	0,10	0,77	0,04
Аккумулятивная, травяное болото на торфяно-болотной почве	0,01	0,04	5,91	0,16

Примечание: * - солевые компоненты; ** - несолевые компоненты.

В настоящей статье кратко охарактеризовано горизонтальное, вертикальное и круговое движение элементов в биогеоценозах. Комплекс работ, выполненных на стационаре «Карачи», гораздо полнее и глубже, он раскрывает эволюцию почв, идущую от болота к луговой степи.

Замысел работ, их полномасштабное выполнение и выводы, имеющие широкое значение, отражены в двух томах монографии «Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы» (1974,1976), за которую, в числе других заслуг, Роман Викторович Ковалев получил Золотую медаль им. В.В. Докучаева.

Ни на одном травяном стационаре не были так широко и многосторонне изучены эколого-биохимические процессы. Комитет МБП оценил работы Карачинского стационара и предложил Н.И. Базилевич и А.А. Титляновой не только довести суть работ стационара для широкого круга ученых, но и обобщить материалы других коллективов МБП, проводивших исследования в прериях, степях и лугах. Эта работа была выполнена и изложена в монографиях IBP, опубликованных Кембриджским университетом: «Grassland ecosystems of the World» (Titlyanova, Bazilevich, 1979) и «Grasslands, system analysis and man» (Bazilevich, Titlyanova, 1980).

Исследования Карачинского стационара не были бы так широко известны, если бы на стационаре в течение семи лет не работала дружная команда почвоведов, ботаников, метеорологов, гидрологов, зоологов, микробиологов, экологов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данная публикация не состоялась бы без помощи Смоленцевой Е.Н., Смоленцева Б.Н., Гаврилова Д.А., Наумовой Н.Б., Тихомировой Н.А., за что им большое спасибо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аристовская Т.В. Роль микроорганизмов в мобилизации и закреплении железа в почвах // *Почвоведение*, 1975, № 4. С. 87–91.
2. Базилевич Н.И. Миграция химических веществ с атмосферными осадками и водами поверхностного стока // *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1976. Т. 2. С. 82–90.
3. Базилевич Н.И., Курачев В.М., Чижикова Н.П., Градусов Б.П., Горина А.И. Формирование и состав вод внутрипочвенного нисходящего стока и миграция химических веществ // *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1976. Т. 2. С. 90–110.
4. Вагина Т.А., Базилевич Н.И., Курачев В.М. Почвы и растительность // *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1974. Т. 1. С. 40–46.
5. Вагина Т. А., Шатохина Н. Г. Динамика запасов надземной и подземной органической массы степных, луговых и болотных фитоценозов // *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1976. Т. 2. С. 217–265.
6. Курачев В.М., Базилевич Н.И., Рябова Т.Н. Состав атмосферных осадков и вод поверхностного стока // *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1976. Т. 2. С. 90–110.
7. Ляпунов А.А., Титлянова А.А. Системный подход к изучению обменных процессов в биогеоценозе // *Ботанический журнал*, Т. 59, № 8. 1974. С. 1081–1092.
8. Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. *Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1974. Т.1. 308 с.
9. Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. *Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1976. Т.2. 495 с.
10. Титлянова А. А. Биологический круговорот азота и зольных элементов в травяных биогеоценозах.— *Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1979. 150 с.
11. Титлянова А.А., Базилевич Н.И. Функциональная модель обменных процессов // *Структура, функционирование и эволюция системы биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние*, 1976. Т. 2. С. 449–467.
12. Titlyanova A.A., Bazilevich N.I. Nutrient cycling // *Grassland ecosystems of the World. Cambridge: Cambridge Univ. Press*, 1979. P.170–181.
13. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. Comparative studies of ecosystem function // *Grasslands, system analysis and man. Cambridge: Cambridge Univ. Press*, 1980. P. 713–759.

Поступила в редакцию 30.05.2018

Принята 06.06. 2018

Опубликована 30.11.2018

Сведения об авторах:

Титлянова Аргента Антониновна - доктор биологический наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); argenta@issa-siberia.ru

Шибарева Светлана Васильевна - кандидат биологический наук, научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); shibareva@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

THE ROLE OF KARACHI EXPERIMENTAL STATION OF THE INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY OF THE USSR SB AS IN THE INTERNATIONAL BIOLOGICAL PROGRAM RESEARCH (1968-1974)

© 2018 A.A. Titlyanova, S.V. Shibareva

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

The Karachi Experimental Station, established in 1968 by the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences (55.344848N, 76.945782E, Novosibirsk region, Russia), carried out research concerning the main topics of the International Biological Program (IBP). Catena was the main object of research, with steppe in its eluvial and mire in its accumulative ecosystems. Seven catena ecosystems were studied in detail. The input of carbon, nitrogen and mineral elements with precipitation was measured. Chemical element migration with surface water flow in different biogeocoenoses was studied. Migration rate was shown to increase down the catena. Eluvial ecosystems had positive salt balance. Trans-eluvial ecosystems were found to lose elements, while accumulative ones were found to accumulate many elements, including carbon and nitrogen. Vertical migration and chemical elements balance were also investigated. The study of biological turnover showed its great capacity and intensity, exceeding 10-100-fold yearly migration of elements with waters. Biological turnover was concluded to be the main tool of carbon redistribution between atmosphere and soil and of such macroelements as nitrogen, potassium and calcium between soil and plant.

Key words: *International Biological Program, Barabinsk lowland, catena, soils evolution, vegetation, horizontal and vertical movement of water and chemical elements, block diagram of metabolic processes, biological cycle*

How to cite: *Titlyanova A.A., Shibareva S.V. The role of Karachi experimental station of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the USSR SB as in the International Biological Program Research (1968–1974) // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(3): 107 – 117. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Aristovskaya T.V. The role of microorganisms in the mobilization and fixation of iron in soils, *Pochvovedenie*, 1975, No 4, p. 87–91. (in Russian)
2. Bazilevich N.I. Migration of chemical substances with atmospheric precipitation and surface runoff water, In book: *Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976, V. 2, p. 82-90.* (in Russian)
3. Bazilevich N.I., Kurachev V.M., Chizhikova N.P., Gradusov B.P., Garina A.I. The formation and structure of subsurface water flow and the downward migration of chemical substances, In book: *Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976, V. 2, p. 90-110.* (in Russian)
4. Vagina T.A., Bazilevich N.I., Kurachev V.M.. Soil and vegetation, In book: *Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976, V. 1, p. 40-46.* (in Russian)
5. Vagina T. A., Shatokhina N.G. Dynamics of stocks of aboveground and underground organic mass of steppe, meadow and marsh phytocoenoses, In book: *Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976, V. 2, p. 217— 265.* (in Russian)
6. Kurachev V.M., Bazilevich N.I., Raybova T.N. The composition of precipitation and surface water, In book: *Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976, V. 2, p. 90-110.* (in Russian)
7. Laypunov A.A., Titlyanova A.A. Systematic approach to the study of exchange processes in biogeocoenosis, *Botanicheskii Zhurnal*, 1974, V. 59, №8, p. 1081-1092. (in Russian)
8. Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1974. V. 1. 307 p. (in Russian)
9. Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976. V. 2. 495 p. (in Russian)
10. Titlyanova A. A. Biological circulation of nitrogen and ash elements in herbal biogeocoenoses. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1979. 150 p. (in Russian)
11. Titlyanova A.A., Bazilevich N.I. Functional model of metabolic processes, In book: *Structure, functioning and evolution of biocenoses system in Baraba. Novosibirsk: Science, Siberian Branch Publ., 1976, V. 2, P. 449-467.* (in Russian)
12. Titlyanova A.A., Bazilevich N.I. Nutrient cycling, *Grassland eco-systems of the world: analysis grasslands and there uses. Cambridge, 1979, p.170–181.*

13. Titlyanova A.A., Bazilevich N.I. Comparative studies of ecosystem function, *Grasslands, system analysis and man*. Cambridge, 1980, p.713–759.

Received 30 May 2018

Accepted 06 June 2018

Published 30 November 2018

About the authors:

Titlyanova Argenta A. – Profesor, Doctor of Biol. Sci., Leading Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); argenta@issa.nsc.ru

Shibareva Svetlana V. – Cand. of Biol. Sci., Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); shibareva@issa.nsc.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

УДК 631.454
doi: 10.31251/pos.v1i3.29

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКЦИЮ ТОМАТА И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРО-БУРОЙ ПОЧВЫ НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ (АЗЕРБАЙДЖАН)

© 2018 К. А. Алиева

Адрес: Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, Азербайджан, г.Баку, AZ-1073, ул. М. Рагима 5. E-mail: aliyeva.k@yahoo.com

Цель исследования. Целью работы было изучение влияния внесения различных доз азота на фоне органических и фосфорно-калийных удобрений на продукцию томата и изменение содержания основных элементов питания (NPK) в серо-бурой почве (Gypsisol).

Место и время проведения. Работу проводили в 2017 г. на Абшеронском полуострове на опытном участке Института овощеводства Министерства сельского хозяйства Азербайджана (40° 31' с.ш., 49° 52' в.д.).

Методология. Влияние удобрений изучали в полевом мелкоделяночном опыте в 5 вариантах: контроль (без удобрений), фон (навоз 10 т/га + N₀P₉₀K₉₀), фон + N₃₀, фон + N₆₀, фон + N₉₀. Опыт проводили в 4-х-кратной повторности.

Основные результаты. Изучено влияние внесения различных доз азота на фоне органических и фосфорно-калийных удобрений на изменение содержания питательных элементов (NPK) в серо-бурой почве под культурой томата в разные фазы развития. Обсуждены агрохимические свойства серо-бурой почвы до и после внесения удобрений. Установлено, что серо-бурые почвы недостаточно обеспечены гумусом, азотом и фосфором, а содержание калия близко к оптимальному значению. При совместном применении минеральных и органических удобрений содержание элементов питания в почве увеличилось, особенно в фазу цветения томата. Поглощение питательных веществ (азота и калия) в период плодоношения томатов привело к значительному уменьшению их содержания в почве в конце вегетации. Наибольшая прибавка (30%) продукции плодов томата получена при внесении N₉₀ + навоз 10 т/га + P₉₀K₉₀, при этом продукция плодов томата составила 518 ц/га.

Заключение. Для получения высокой продукции плодов томата на серо-бурой почве Абшеронского полуострова необходимо совместное внесение органо-минеральных удобрений.

Ключевые слова: серо-бурая почва; азот; фосфор; калий; томат; элементы питания; урожай.

Цитирование: Алиева К.А. Влияние различных доз азотных удобрений на продукцию томата и агрохимические свойства серо-бурой почвы на Абшеронском полуострове // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.118 – 125.

ВВЕДЕНИЕ

Отношение томата к условиям почвенного питания меняется на протяжении вегетационного периода. В рассадный период томат интенсивно потребляет калий и фосфор, однако после пересадки в открытый грунт усиливает поглощение азота. Поэтому для получения качественной рассады необходимо усиленное фосфорно-калийное питание на фоне умеренных доз азота, а после пересадки растений в открытый грунт дозы вносимого азота необходимо увеличить до уровня фосфорно-калийных. Растения томата поглощают сравнительно небольшое количество фосфора, однако чувствительны к недостатку его в почве (Овощеводство, 2003).

Применение органических и минеральных удобрений способствует улучшению физических свойств почв, накоплению гумуса и элементов питания для растений, усилению биологической активности почв и обеспечивает устойчивое и эффективное производство высококачественной сельскохозяйственной продукции. Нерациональное применение азотных удобрений или нарушение технологии их внесения приводят к загрязнению окружающей среды азотными соединениями, а также к избыточному накоплению нитратов в овощных и кормовых культурах (Кудеяров и др., 2004; Мерзлая и др., 2006; Мамедов и др., 2010).

Азотно-калийное питание особенно необходимо растениям в период бутонизации, цветения, плодообразования и до конца плодоношения. Недостаток азота, а тем более калия, ослабляет рост растений, приводит к измельчению плодов и снижению урожая. Однако избыток азота, особенно в

период вегетативного роста, способствует «жированию» растений, значительной задержке начала плодоношения и повышению восприимчивости их к заболеваниям (Дукаревич, 1979).

Определение оптимальных доз удобрений для томатов является очень важным вопросом. С этой целью было изучено влияние различных соединений азота органических удобрений на биометрические показатели томата сорта «Илькин». Показано, что при внесении органических удобрений (10 т/га) + N₉₀P₉₀K₉₀ увеличивались масса и диаметр плодов томатов, а содержание в них нитратов не превышало нормативные показатели (Aliyeva, 2018).

Цель работы – изучение влияния различных доз азота на фоне органических и фосфорно-калийных удобрений на изменение содержания основных элементов питания (NPK) в серо-бурой (*Gypsisol*) почве и продукцию томата на Абшеронском полуострове (Азербайджан).

Эксперименты проводили с томатом сорта «Илькин». Этот сорт подходит для выращивания в открытом грунте. Транспортабельность (3200-3500 км) и прочностные качества плодов высокие. Плоды этого сорта пригодны для употребления в свежем виде и консервирования. Сорт устойчив к фузариозному увяданию (Каталог., 2012).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Абшеронский полуостров на западном побережье Каспийского моря является одной из основных овощных зон в юго-восточной части Большого Кавказского хребта (Бабаев в соавт., 1998; Ганжара в соавт., 2002).

Полевые исследования были проведены на опытном участке Научно-исследовательского Института овощеводства Министерства сельского хозяйства Азербайджана на территории Абшеронского региона (Пиршагинский массив). Участок исследований расположен на широте 40° 31', долготе – 49° 52' и высоте 20,4-34,7 м над уровнем Каспийского моря (рис.1). Климат полуострова в основном сухой, субтропический. Серо-бурые почвы являются одним из основных типов почв Абшерона (Бабаев в соавт., 2006).



Рисунок 1. Расположение опытного участка (по данным сервиса Google Earth).

Для решения поставленных задач заложили полевые опыты в 4-кратной повторности (рис.2). Площадь одной делянки составила 15,12 м², площадь питания одного растения – 70см×30 см. Полевые опыты проводили в 5 вариантах: 1) контроль (без удобрений); 2) фон (навоз 10 т/га + N₀P₉₀K₉₀); 3) фон + N₃₀; 4) фон + N₆₀; 5) фон + N₉₀.



Рисунок 2. Посадка томатов по схемам на опытном участке Института овощеводства (Министерство сельского хозяйства Азербайджана).

Азот, фосфор и калий вносили в виде минеральных удобрений: аммиачная селитра, карбамид, простой суперфосфат, сульфат калия.

До посева из почвы были взяты образцы из слоя 0-100 см, и проведены лабораторно-аналитические работы общепринятыми методами. В дополнение к этому почвенные образцы отбирали из слоев 0-20 и 20-40 см в разные фазы развития томата (массовое цветение, плодообразование, конец вегетации) для изучения динамики содержания питательных веществ в почве.

В образцах почвы валовой азот определяли по методу Кьельдаля, гумус – по методу Тюрина, водорастворимый и поглощенный (экстрагент 1Н КСl) аммоний - с реактивом Несслера, нитратный азот – по методу Грандваль Ляжу, подвижный фосфор – по Мачигину, обменный калий – методом Протасова-Гусейнова (Аринушкина, 1970). Валовой фосфор и калий определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре ContrAA 700 «Analytik Jena». рН водной и солевой суспензии определяли потенциометром «Mettler Toledo».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных агрохимических исследований установлено, что в орошаемой серо-бурой почве содержание гумуса вниз по профилю снижалось с 1,62 до 0,09 % (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические свойства орошаемой серо-бурой почвы Абшерона (в 2017 году).

Глубина, см	N				P ₂ O ₅		K ₂ O		Гумус, %	рН _{вод}	рН _{КСl}
	Валовой, %	Водорастворимый N-NH ₄ ⁺ , мг/кг	Поглощенный N-NH ₄ ⁺ , мг/кг	N-NO ₃ ⁻ , мг/кг	Валовой, %	Подвижный, мг/кг	Валовой, %	Обменный, мг/кг			
0-20	0,121	6,04	17,46	5,76	0,144	12,65	1,92	295,4	1,62	7,57	7,45
20-40	0,075	5,17	13,55	4,48	0,113	10,83	1,78	235,7	1,13	7,70	7,44
40-60	0,064	4,31	8,73	2,35	0,079	6,19	1,63	185,3	0,84	7,69	7,45
60-80	0,043	2,28	5,04	0,72	0,052	3,42	0,95	122,4	0,45	7,78	7,51
80-100	0,018	1,96	3,61	0,31	0,048	2,56	0,88	109,6	0,09	8,03	7,53

В слоях 0-20 и 20-40 см содержание водорастворимого аммиачного азота в почве колебалось в пределах 5,2-6,0 мг/кг, поглощенного аммиачного азота – 13,6-17,5 мг/кг. Содержание нитратного азота в метровом слое почвы изменялось в пределах от 0,3 до 5,8 мг/кг.

В слоях почвы 0-20 и 20-40 см содержание подвижных форм фосфора изменялось в пределах 10,8-12,7 мг/кг, в нижних горизонтах его содержание постепенно снижалось. Содержание обменного калия слоях 0-20 и 20-40 см колебалось в пределах 236-295 мг/кг, что характерно для почв региона. Установлено, что содержание элементов питания в пахотном и подпахотном слоях почвы ниже оптимального значения, при котором возможно эффективное выращивание овощей.

В исследованных почвах содержание валового калия по сравнению с азотом и фосфором достаточно велико. В метровом слое почвы содержание валового калия составило 0,88-1,92 %, валового азота – 0,018-0,121 %, валового фосфора – 0,048-0,144 %.

Реакция почвенной среды в метровом слое почвы среднещелочная (рН водной суспензии 7,57-8,03, рН солевой суспензии 7,45-7,53).

Установлено, что серо-бурые почвы недостаточно обеспечены гумусом, азотом и фосфором. Калия в этих почвах достаточно, но для хорошего развития томатов необходимо применять калийные удобрения. В верхних слоях почв азота, фосфора и калия больше, чем в нижних.

В таблице 1 приведены данные, характерные для орошаемых серо-бурых почв Абшерона (Бабаев в соавт., 2011).

Изучение динамики элементов питания в почве открытого грунта было полезно для получения представления об обеспеченности томата питанием в течении всей вегетации. Результаты изучения влияния различных доз азота на фоне органических и фосфорно-калийных удобрений на накопление питательных элементов (NPK) в почве под культурой томата в разные фазы развития представлены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение содержания элементов питания в почве под культурой томата в разные фазы вегетации, мг/кг почвы (в 2017 году)

Вариант	Глубина, см	Фаза развития											
		Цветение				Плодообразование				Уборка урожая			
		N-NH ₄ ⁺ поглощенный	N-NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅ подви	K ₂ O _{обм}	N-NH ₄ ⁺ поглощенный	N-NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅ подви	K ₂ O _{обм}	N-NH ₄ ⁺ поглощенный	N-NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅ подви	K ₂ O _{обм}
Контроль (без удобрений)	0-20	16,5	6,7	14,4	281	15,5	5,4	12,8	247	14,5	4,8	11,8	226
	20-40	15,5	4,9	13,3	233	14,5	4,2	11,4	209	13,6	4,1	9,5	185
Фон (Навоз (10 т/га) + N ₀ P ₉₀ K ₉₀)	0-20	18,4	10,5	32,5	342	17,5	8,3	25,4	300	16,5	6,7	17,0	287
	20-40	15,5	9,9	22,8	246	15,5	7,8	18,5	222	14,5	5,9	12,2	219
Фон + N ₃₀	0-20	23,3	12,1	32,9	349	19,4	9,3	26,2	310	18,4	7,0	18,1	295
	20-40	18,4	11,8	23,5	239	16,5	8,9	18,7	240	15,5	6,5	12,2	236
Фон + N ₆₀	0-20	26,6	12,9	33,6	350	23,3	10,7	26,5	310	19,4	7,7	19,3	298
	20-40	19,5	11,9	24,9	244	18,4	9,1	18,0	237	16,5	6,9	13,3	229
Фон + N ₉₀	0-20	29,9	13,6	34,8	350	25,5	11,3	27,2	313	22,7	8,0	19,3	300
	20-40	23,3	12,7	24,7	243	19,4	9,8	18,9	241	17,5	6,8	13,3	237

За время эксперимента содержание N-NH₄⁺ и N-NO₃⁻ в слоях почвы 0-20 и 20-40 см во все сроки наблюдения варьировало. В почве опытного варианта фон+N₉₀ в фазу цветения томата содержание аммонийного азота увеличилось до 23,3-29,9 мг/кг, а нитратного азота до 12,7-13,6 мг/кг почвы. В контрольном (без удобрений) варианте эти показатели составили 15,5-16,5 мг/кг и 4,9-6,7 мг/кг почвы, соответственно.

Содержание подвижного фосфора в почве также изменялось в зависимости от фазы развития томата: его максимальное содержание в слое 0-20 см почвы было отмечено в фазу цветения в варианте фон+N₉₀, и в конце уборки урожая уменьшилось (табл.2).

Содержание обменного калия в почве в течение вегетации томата также уменьшилось. В варианте без внесения удобрений (фаза цветения томата) в слое почвы 0-20 см содержание обменного калия составило 281 мг/кг, после уборки урожая – 226 мг/кг. В вариантах с внесением органических и минеральных удобрений (NPK) содержание обменного калия в слое 0-20 см почвы не изменилось. После уборки урожая содержание обменного калия как в удобренных, так и в контрольных вариантах значительно снизилось.

Анализ методом главных компонент позволил наглядно представить расположение почвенных образцов различных вариантов опыта на разных стадиях развития растений томата (рис.3): наиболее удобренные варианты, а также верхний слой почвы и начальная стадия развития растений группируются ближе к повышенному содержанию подвижных питательных элементов. Почва контрольного варианта лежит особняком в противоположной расположению элементов питания полуплоскости; ближе к ней лежат образцы из слоя 20-40 см.

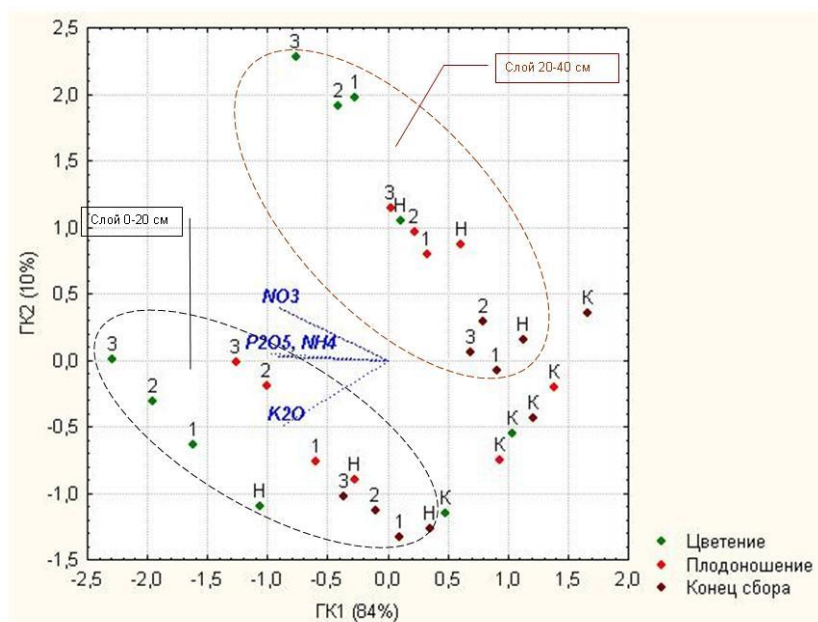


Рисунок 3. Расположение содержания подвижных форм питательных элементов (переменные анализа) и различных образцов почвы (объекты) в плоскости первых двух главных компонент. Обозначения вариантов удобрения: К – контроль (без удобрений), Н – навоз, 1 – навоз+N₃₀, 2 – навоз+N₆₀, 3 – навоз+N₉₀

Различные дозы азотного удобрения на фоне навоз 10 т/га + N₀P₉₀K₉₀ оказали положительное влияние на продукцию плодов томатов (рис. 3). В контрольном варианте урожай составил 397,3 ц/га, в варианте фон + N₃₀ - 452,9 ц/га (прибавка над контролем 14 %), в варианте фон + N₆₀ – 490,1 ц/га (прибавка 23,4 %), а в варианте фон + N₉₀ – 518,1 ц/га (прибавка 30,4 %).

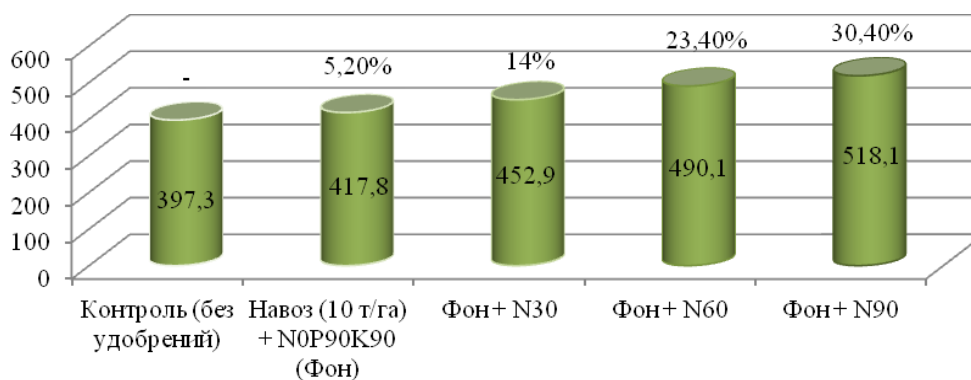


Рисунок 4. Урожайность томата (ц/га) и прибавка к контролю (%) для вариантов опыта

Таким образом, внесение минеральных удобрений с нарастающими дозами азота на фоне навоза (10 т/га) и $N_0P_{90}K_{90}$ оказывало положительное влияние на состояние растений томата. Растения томата развивались хорошо, и увеличивали продукцию плодов.

ВЫВОДЫ

В результате исследования установлено, что томаты в начале развития поглощали сравнительно мало питательных веществ, но резко увеличили их потребление (особенно азота и калия) в период плодоношения. Томаты выносят из почвы незначительное количество фосфора, однако сильно отзываются на его внесение, особенно в рассадный период.

Эффективность азотных удобрений и более продуктивное их использование зависят от соотношения между азотом и другими элементами питания, которые применяют для удобрения овощных культур. Результаты проведенного исследования показали, что с повышением дозы азотного удобрения содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве увеличилось во всех фазах развития томата. На орошаемых серо-бурых почвах наибольшие прибавки продукции плодов томата получены при внесении N_{90} на фоне 10 т/га навоза и $N_0P_{90}K_{90}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овощеводство. Под ред. Г.И. Тараканова и В.Д. Мухина. М.: Колосс, 2003. 472 с.
2. Кудеяров В.Н., Семенов В.М. Оценка современного вклада удобрений в агротехнический цикл азота, фосфора и калия // *Почвоведение*. 2004. № 12. С.1140-1146.
3. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Фомкина Т.П. Длительное применение органических и минеральных удобрений при оптимизации их доз и сочетаний на легкосуглинистой почве // *Агрехимия*. 2006. № 10. С. 33-40.
4. Мамедов Г.Ш., Халилов М.Ю., Мамедова С.З. Агрэкология. Баку, 2010. 552 с.
5. Дукаревич Б. И. Удобрение овощных культур. М.: Россельхозиздат, 1979. 48 с.
6. Aliyeva K. Influence of different nitrogen norms on the collection of nutrients in tomato plant in the background of organic fertilizers // *Бюллетень науки и практики*. 2018. Т. 4. №4. С. 109-114.
7. Каталог районированных и перспективных сортов овощных, бахчевых культур и картофеля Азербайджанского Научно Исследовательского Института Овощеводства. Баку, 2012. 104 с.
8. Бабаев М.П., Оруджева Н.Г., Мирзазаде Р.И. Орошаемые серо бурые почвы Абшерона // *Тр. Общ. Почвоведов Азербайджана*. Баку, 1998. Т. 7. С. 5-7.
9. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
10. Бабаев М.П., Джафарова Ч.М., Гасанов В.Г. Современная классификация почв Азербайджана // *Почвоведение*. 2006. № 11. С. 1307–1315.
11. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1970. 487 с.
12. Бабаев М.П., Гасанов В.Г., Джафарова Ч.М., Гусейнова Дж.М. Морфогенетическая диагностика, номенклатура и классификация почв Азербайджана. Баку, 2011. 448 с.

Поступила в редакцию 24.09.2018

Принята 16.11.2018

Опубликована 30.11.2018

Сведения об авторе:

Алиева Кёнуль Агасафар кызы - научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана, (Баку, Азербайджан); aliyeva.k@yahoo.com

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

THE INFLUENCE OF NITROGEN FERTILIZATION RATES ON TOMATO PRODUCTION AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF THE GYPSISOL ON THE ABSHERON PENINSULA (AZERBAIJAN)

© 2018 K.A. Aliyeva

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan. E-mail: aliyeva.k@yahoo.com

The aim of the study. The main objective of the work was to study the influence of different nitrogen fertilization rates applied on the background of organic fertilizer on the nutrients (NPK) content in the grey-brown (Gypsisol) at different phases of tomato plants' development on the Absheron Peninsula.

Location and time of the study. Field experiments were conducted in 5 variants according to the following scheme: control (without fertilizers); manure (10 t/ha) + $N_0P_{90}K_{90}$ (background); background + N_{30} ; background + N_{60} ; background + N_{90} .

Results of the study. It was found that the studied gray-brown soil had low content of humus, nitrogen and phosphorus, while having potassium closer to the regular content. The article discusses agrochemical properties of the agricultural gray-brown soil. The combined use of mineral and organic fertilizers was shown to increase nutrients content in soil, especially in the flowering phase of tomato plants. In the course of nutrients uptake from soil by tomato plants due to their development and growth the nutrients content (especially nitrogen and potassium) in soil decreased. The greatest gain in tomato yield (30%) was obtained when N_{90} were applied on the background of 10 t/ha of manure and $N_0P_{90}K_{90}$, the yield of tomato fruits reaching 518 c/ha.

Conclusion: To obtain high yields of tomato fruits on the gray-brown soil (Gypsisol) of the Absheron Peninsula combined organic and mineral fertilization can be recommended.

Key words: gray-brown soil; Gypsisol; agrochemical properties; tomato; nutrients; yield.

How to cite: Aliyeva K. A. The Influence of nitrogen fertilization rates on tomato production and agrochemical properties of the gray-brown soil on the Absheron Peninsula // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(3): 118 – 125. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Vegetable growing. Under the editing of Tarakanova G.I. and Mukhina V.D. Moscow, Koloss, 2003, 472 p. (in Russian)
2. Kudiyarov V.N., Semenov V.M. Evaluation of the modern contribution of fertilizers to the agrotechnical cycle of nitrogen, phosphorus and potassium. *Soil Science*. 2004, № 12, p. 1140-1446. (in Russian)
3. Merzlaya G.E., Zhabkina G.A., Fomkina, T.P. Long-term application of organic and mineral fertilizers at optimal rates and combinations to sandy loamy soil. *Agrochemistry*. 2006, № 10, p. 33-40. (in Russian)
4. Mammadov G.Sh., Khalilov M.Y., Mammadova S.Z. Agroecology. Baku, 2010. 552 p. (in Azerbaijan)
5. Dukarevich B.I. Fertilizer of vegetable crops. Moscow, Rosselkhozizdat, 1979, 48 p. (in Russian)
6. Aliyeva K. Influence of different nitrogen norms on the collection of nutrients in tomato plant in the background of organic fertilizers. *Bulletin of Science and Practice*, 2018, V. 4, № 4, p. 109-114
7. Catalog of zoned and promising varieties of vegetables, melons and potatoes of the Azerbaijan Scientific Research Institute of Vegetables. Baku, 2012, 104 p. (in Azerbaijan and Russian)
8. Babayev M.P., Orujova N.H., Mirzazada R.I. Absheron's irrigated gray-brown soils. *Proceedings of the Azerbaijan Soil Science Society*. Baku, 1998, V. 7, p. 5-7. (in Russian)
9. Ganjara N.F., Borisov B.A., Baibekov R.F. Practical work on soil science. Moscow, Agrokonsalt, 2002, 280 p. (in Russian)
10. Babaev M.P., Dzafarova C.V., Gasanov V.G. Modern classification of soils in Azerbaijan, *Eurasian Soil Science*. 2006, V. 49, №11, p. 1307-1315. (in Russian)
11. Arinushkina E.V. Manual on chemical analysis of soils. Moscow, 1970. 487 p. (in Russian)
12. Babayev M.P., Hasanov V.H., Cafarova Ch.M., Huseynova J.M. Morphogenetic diagnostics, nomenclature and classification of soils in Azerbaijan. Baku, 2011. 448 p. (in Azerbaijan)

Received 24 September 2018

Accepted 16 November 2018

Published 30 November 2018

About author:

Aliyeva Konul A. - researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Azerbaijan National Academy of Sciences (Baku, Azerbaijan); *aliyeva.k@yahoo.com*

The author read and approved the final manuscript



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ СКЛОНА, СТРУКТУРА И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2018 О.П. Якутина, Т.В. Нечаева, Н.В. Смирнова

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 8/2. E-mail: oyakutina@issa-siberia.ru

Цель исследования: Охарактеризовать плодородие черноземов оподзоленного и выщелоченного, темно-серой лесной и лугово-черноземной почвы в условиях эрозионно опасных склонов на юге Западной Сибири, оценить структуру урожая яровой пшеницы и качество зерна.

Место и время проведения. Исследование проведено на почвах трех экспериментальных участков, расположенных на склонах Буготакского мелкосопочника, геоморфологически относящегося к Предсалаирской дренированной равнине (Предсалаирью) на юго-востоке Западной Сибири, в административном отношении – к правобережной части Новосибирской области (НСО). Участок 1 находился в Искитимском районе НСО на склоне южной экспозиции с уклоном от 0 до 6° и представлен черноземом оподзоленным различной степени смытости. В Тогучинском районе НСО были расположены: участок 2 на склоне юго-восточной экспозиции с уклоном от 0 до 6,5° с черноземом выщелоченным несмытым и слабосмытым, а также лугово-черноземной намытой почвой; участок 3 на склоне северо-западной экспозиции с уклоном от 0 до 4,5° с темно-серой лесной несмытой, слабо- и среднесмытой почвой. Выращиваемая культура – яровая мягкая пшеница сорта Новосибирская 29 (участок 1; 2010 и 2014 гг.) и сорта Памяти Вавенкова (участки 2, 3; 2011 г.).

Методология. Почвенные образцы отбирали в двукратной повторности из разрезов, заложенных на участках согласно степени смытости почв; растительные образцы – рамкой 50×50 см в четырехкратной повторности.

Основные результаты. Содержание и запасы органического углерода, гумуса, общего азота снижались с усилением степени смытости чернозема оподзоленного и выщелоченного, темно-серой лесной почвы. Максимальные значения данных параметров установлены в намытой лугово-черноземной почве. Обеспеченность пшеницы нитратным азотом была низкой; легкоподвижным фосфором – варьировала в пределах от среднего до высокого; обменным калием – от низкого до повышенного уровня. В условиях экстенсивного землепользования и при ограниченных влагозапасах урожаи пшеницы на несмытом черноземе оподзоленном южной экспозиции склона (участок 1) варьировал от 5 до 20 ц/га, на смытых почвах – оставался на уровне несмытой почвы или даже имел тенденцию к увеличению на слабо- и среднесмытых вариантах. Максимальные значения урожая пшеницы получены на намытой почве – 33 ц/га. Между несмытым черноземом выщелоченным и смыто-намытыми почвами юго-восточной экспозиции склона (участок 2) существенных различий в урожае пшеницы не установлено (34-41 ц/га). На несмытой темно-серой лесной почве северо-западной экспозиции склона (участок 3) урожай пшеницы составил 43 ц, на слабо- и среднесмытых вариантах – снизился до 11 ц/га. Масса 1000 зерен пшеницы на почвах всех участков относилась к группе с высокой массой (>30 г). Содержание азота в зерне и соломе пшеницы было низким; калия – ниже среднего; фосфора – в зерне оптимальным, в соломе варьировало от высоких до низких величин. Содержание сырого протеина в зерне было очень низким (5-8%), доля массы зерна в общей массе пшеницы изменялась от 35 до 48%.

Заключение. Питательный режим эродированных почв складывается под влиянием трансформации профиля ранее ненарушенных почв в результате воздействия эрозионных процессов различной интенсивности и антропогенных факторов. Параметры потенциального и актуального плодородия чернозема выщелоченного и темно-серой лесной почвы тяжелосуглинистого гранулометрического состава выше, чем чернозема оподзоленного среднесуглинистого. Продуктивность яровой пшеницы зависит от увлажненности года, типовой принадлежности и степени смытости почв, экспозиции склона.

Ключевые слова: чернозем оподзоленный; чернозем выщелоченный; темно-серая лесная почва; лугово-черноземная почва; эродированные почвы; Новосибирская область; продуктивность пшеницы; масса 1000 зерен; сырой протеин; азот, фосфор, калий в зерне и соломе.

Цитирование: Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Плодородие почв склона, структура и качество урожая яровой пшеницы на юге Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. № 1(3). С. 126 – 142.

ВВЕДЕНИЕ

Эрозия – один из наиболее масштабных и опасных видов прогрессирующей деградации почвенного покрова (Strauss, Klafhofer, 2001; Kiryukhina, Patsukevich, 2004; Buschiazzo, Zobeck, 2008; Савич в соавт., 2015). Около 65% земель во всем мире подвержено водно-эрозионным процессам, 28% – дефляции (Webb et al., 2006). В составе сельскохозяйственных угодий Российской Федерации эрозионные и дефлированные почвы занимают 50726,9 млн га, или 28,5% от обследованной площади, особенно они распространены в Центральном, Приволжском и Сибирском федеральных округах (Безуглов в соавт., 2008).

Эрозия, разрушая верхний плодородный гумусовый слой, приводит к образованию почв различной степени эродированности, где отмечаются не только потери мелкозема, органического углерода и питательных веществ, но и перераспределение их по элементам рельефа, что в конечном итоге приводит к значительному снижению плодородия почв, продуктивности и качества сельскохозяйственных культур (Черемисинов, 1972; Каштанов, Явтушенко, 1997; Жилко в соавт., 1999; Сухановский в соавт., 2011; Якутина в соавт., 2011; Савельева, 2016; Pimentel, 2006; Papiernik et al., 2009; Yakutina et al., 2015; Gopp et al., 2017; Zhijia Gu et al., 2018). Переотложение мелкозема с формированием смыто-намытых комплексов почв и конусов выноса на поверхности пашни также способствует усложнению почвенного покрова и усилению его фрагментарности (Танасиенко, 2003; Басевич, Макаров, 2011; Губина, 2014; Gabbasova et al., 2016). Поэтому весьма актуальны исследования, связанные с изучением почв на эрозионно опасных склонах.

Снижение уровня химизации сельского хозяйства на фоне утраты почвозащитных технологий в регионах с большим количеством сельскохозяйственных земель, расположенных на склонах, приводит не только к недобору урожая, но также к снижению качества продукции. В среднем урожайность сельскохозяйственных культур снижается на слабосмытых почвах на 10-20% по сравнению с ненарушенными почвами, на средне- и сильносмытых – на 30-40 и 50-60% соответственно (Безуглов в соавт., 2008). В Ростовской области потери зерна озимой пшеницы в севооборотах на эрозионно опасных склонах составили 0,15-0,37 т/га (Гаевая в соавт., 2012). За 11-летний период средняя урожайность озимой пшеницы в Центрально-Черноземной зоне без применения удобрений на плакоре и склоне 1-3° составила 42 и 37,2 ц/га соответственно, в условиях склона с уклоном 3-5° – 33,3 ц/га (Смирнова в соавт., 2014). Яровая мягкая пшеница, выращиваемая на склоновых землях, в 1,3-1,7 раза чаще поражалась корневыми гнилями, а ее урожайность была на 6,4-38% ниже, чем на плакорных участках (Абдулвалеев, Троц, 2015). В Курской области установлено снижение биологической продуктивности твердых и мягких сортов пшеницы на северных склонах в сравнении с южными (Долгополова, 2015). При этом такие параметры как длина колоса, количество зерен в колосе, масса одного колоса и масса 1000 зерен варьировали по годам, но в целом имели тенденцию к снижению в следующем ряду: водораздел → южный склон → северный склон.

В структуре посевных площадей Сибири основная доля (около 70%) принадлежит зерновым культурам, среди которых преобладает яровая пшеница – 75-80% (Гамзиков, Носов, 2010). В современных условиях и на ближайшую перспективу яровая пшеница является и останется доминирующей сельскохозяйственной культурой сибирского земледелия. Неравноценность агрохимических свойств и агроэкологических условий почв водоразделов и склонов различной полярности обуславливают неодинаковую урожайность культур. Так, в Восточной Сибири наиболее благоприятные условия для выращивания яровой пшеницы складываются на плато, южных и восточных склонах (Едимейчев, Шпедт, 2016). На юге Западной Сибири основную массу урожая зерновых культур дают черноземы и серые лесные почвы. Наилучшие показатели структуры урожая пшеницы в условиях Предсалаирья отмечены на несмытых почвах водораздела (Якутина в соавт., 2017). С усилением степени смытости почв они ухудшались, причем наиболее существенно на северо-западной экспозиции склона. Однако в опыте на черноземе выщелоченном Алтайского края (Жежер, 1983) выявлена более высокая продуктивность яровой пшеницы на северном склоне (18,4 ц/га) по сравнению с южным (14,5 ц/га), в то время как на водораздельных участках, прилегающих к северному и южному склонам, она составила 21,5 и 17,0 ц/га.

Цель данной работы – охарактеризовать плодородие чернозема оподзоленного и выщелоченного, темно-серой лесной и лугово-черноземной почвы в условиях эрозионно опасного склона на юге Западной Сибири, оценить структуру урожая яровой пшеницы и качество зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено на территории Буготакского мелкосопочника, геоморфологически относящегося к Предсалаирской дренированной равнине (Предсалаирью) в юго-восточной части Западной Сибири, в административном отношении – к правобережной части Новосибирской области (НСО). На данной территории самыми крутыми являются склоны южной ориентации, в то время как пологие холодные склоны (северные) меньше подвержены эрозионным процессам. В целом Предсалаирье характеризуется как потенциально очень сильно опасная в эрозионном отношении территория НСО (Хмелев, Танасиенко, 2009).

На территории исследования было выделено три экспериментальных участка (рис. 1):

Участок 1 расположен в Искитимском районе НСО на склоне южной экспозиции с уклоном от 0 до 6°. Почва – чернозем оподзоленный среднесуглинистый различной степени смытости (Luvic Greyzemic Chernozems).

Участок 2 расположен в Тогучинском районе НСО на склоне юго-восточной экспозиции с уклоном от 0 до 6,5°. Почва – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый несмытый и слабосмытый (Haplic Chernozems), а также лугово-черноземная тяжелосуглинистая намытая (Greyzemic Colluvic Regocols).

Участок 3 расположен в Тогучинском районе НСО на склоне северо-западной экспозиции с уклоном от 0 до 4,5°. Почва – темно-серая лесная тяжелосуглинистая несмытая, слабо- и среднесмытая (Luvic Greyzemic Phaeozems).

Диагностику почв проводили согласно классификации почв СССР (1977) и по WRB (2014). Почвенные образцы отбирали в двукратной повторности из разрезов, заложенных на участках согласно степени смытости почв; растительные образцы – рамкой 50×50 см в четырехкратной повторности. В годы проведения исследования выращивалась яровая мягкая пшеница сорта Новосибирская 29 (участок 1) и сорта Памяти Вавенкова (участки 2, 3).

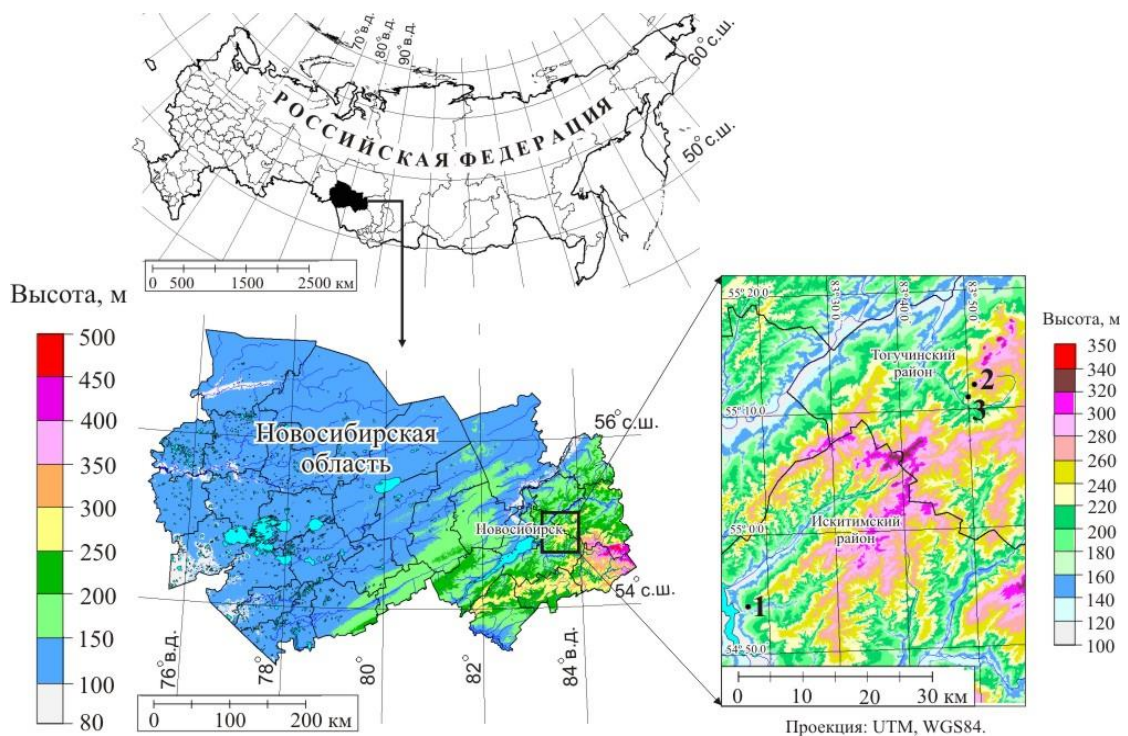


Рисунок 1. Карта территории исследования с выделением экспериментальных участков (1-3)

Если рассматривать изученные участки в виде эрозионной катены, где эрозия происходит в верхней и средней частях склона, а отложение – в нижней (Джерард, 1984), то несмытые почвы приурочены к верхней части склона. Далее, вниз по склону на транзитной позиции расположены слабо-, средне- и сильносмытые почвы. Намытые почвы занимают аккумулятивную позицию катены в подножии склона.

Почвенные образцы проанализированы на содержание органического углерода ($C_{орг.}$) с пересчетом на гумус методом мокрого озоления образцов в серно-хромовой смеси по Тюрину; общего азота ($N_{общ.}$) – мокрым озолением по Кьельдалю с восстановителем-катализатором Кудеярова; нитратного азота ($N-NO_3$) и легкоподвижного фосфора (P_2O_5) – по Карпинскому-Замятиной (экстрагент 0,015M K_2SO_4); обменного калия (K_2O) – по Масловой (экстрагент 1M CH_3COONH_4); pH водной суспензии ($pH_{вод.}$) – потенциометрическим методом (Агрохимические..., 1975; Практикум по агрохимии, 2001). Содержание NPK в зерне и соломе пшеницы определено методом мокрого озоления растительных образцов в смеси серной и хлорной кислот (Гинзбург в соавт., 1963). Количество сырого протеина в зерне пшеницы рассчитано умножением показателей содержания азота на коэффициент 5,83 (Филиппов, Тужикова, 2012). Все расчеты в почвенных и растительных образцах приведены на воздушно-сухое вещество.

Статистическая обработка данных проведена в пакетах Microsoft Office Excel 2007 и SNEDECOR V. 5.80 (Сорокин, 2012). Анализ различия факторных средних выполнен методом дисперсионного анализа на уровне значимости $\alpha = 0,05$. В таблицах и рисунках приведены среднее значение и стандартное отклонение изученных параметров ($M \pm s$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Агрохимический анализ почв (табл. 1) показал, что участки 2, 3 отличались более высоким уровнем плодородия в сравнении с участком 1. Независимо от расположения почв на склоне чернозем оподзоленный характеризовался нейтральной реакцией среды, чернозем выщелоченный – близкой к нейтральной. Темно-серая лесная почва также имела близкую к нейтральной реакцию среды на несмытом и слабосмытом вариантах, слабокислую – на среднесмытом. Подобная закономерность подкисления почв от верхней части склона к нижней характерна и для серых лесных почв Центрального Черноземья (Дубовик Е., Дубовик Д., 2013). Необходимо отметить, что удобрения на исследованных участках не вносились в течение длительного времени (более 15 лет), питательный режим почв сложился здесь под влиянием эрозионных процессов и выращивания яровой пшеницы как монокультуры.

Таблица 1

Агрохимические показатели почв (слой 0-20 см) участков исследования

Почва	$pH_{вод.}$	$C_{орг.}$	$N_{общ.}$	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O
		%		мг/кг		
Участок №1: чернозем оподзоленный, склон южной экспозиции						
Несмытая	7,03	2,84	0,21	3,42	0,48	138
Слабосмытая	6,78	2,91	0,23	2,91	0,85	145
Среднесмытая	6,89	2,51	0,17	2,71	0,94	148
Сильносмытая	7,16	1,83	0,17	2,84	0,36	142
Намытая	7,06	2,07	0,23	2,06	0,69	142
Участок №2: чернозем выщелоченный, склон юго-восточной экспозиции						
Несмытая	5,75	4,77	0,35	6,38	н.д.	208
Слабосмытая	5,91	3,01	0,23	8,83	0,81	538
Намытая*	5,54	12,0	0,60	7,84	1,46	545
Участок №3: темно-серая лесная почва, склон северо-западной экспозиции						
Несмытая	5,78	3,48	0,22	5,79	1,25	263
Слабосмытая	5,64	2,51	0,16	5,24	0,32	141
Среднесмытая	5,18	2,18	0,15	4,64	0,53	154

Примечание: * – лугово-черноземная почва; н.д. – нет данных.

В пахотных почвах Сибири содержание гумуса в значительной степени зависит от типа почвы и варьирует в широком диапазоне, низким считается содержание менее 4,0%, высоким – более 8,1% (Гамзиков, Носов, 2010). Среднее содержание общего азота в пахотном слое черноземов и серых лесных почв составляет порядка 0,44 и 0,29% (Агрохимические свойства почв..., 1989). Наши исследования показали, что среди несмытых почв трех участков наилучшей обеспеченностью гумусом и общим азотом характеризовались чернозем выщелоченный и темно-серая лесная почва. С усилением степени смытости почв их содержание снижалось, максимальные величины были получены в намытой лугово-черноземной почве (табл. 1).

Обеспеченность пшеницы нитратным азотом на изученных участках была низкой и очень низкой (Агрохимические свойства почв..., 1989; Гамзиков, Носов, 2010), легкоподвижным фосфором – варьировала в пределах от среднего до высокого (Почвенно-агрохимические..., 1989). Обеспеченность культур обменным калием по грациям Агрохимслужбы России (Сычев, 2000) варьировала от среднего на участке 1 до очень высокого на участках 2, 3 (табл. 1). Однако по региональным грациям (Якименко, 2003; Якименко, Нечаева, 2016), содержание обменного калия находилось в пределах от неустойчивого до повышенного уровня в почвах склона на участке 2 и в несмытой почве на участке 3; в остальных случаях было низким.

Результаты ранее проведенных нами исследований на территории Предсалаирья (Нечаева в соавт., 2017) указывают на снижение вниз по склону и в ложбине стока по сравнению с вершиной водораздела содержания в пахотном горизонте почв гумуса, общего и нитратного азота, валового фосфора. В распределении подвижных форм фосфора по элементам рельефа отмечено более высокое их содержание в почвах склона и ложбины стока. Содержание валового калия в почвах вниз по склону снижалось, а подвижных форм элемента, наоборот, увеличивалось. Подобные результаты также были получены в условиях Московской области, где выявлена устойчивая тенденция к повышению содержания подвижного фосфора в средней и нижней частях склона по сравнению с верхней, а также повышение содержания обменного калия в почвах вниз по склону крутизной как 8°, так и 4° (Савоськина, 2011). Со временем это обуславливает неоднородность свойств пахотного горизонта почв склонового агроландшафта, что подчеркивается и в других исследованиях (Басевич, Макаров, 2011; Дубовик Е., Дубовик Д., 2012; Гопп в соавт., 2014).

Запасы гумуса в слое 0-50 см почв на изученных участках зависели от экспозиции склона и снижались в следующем ряду: чернозем выщелоченный → темно-серая лесная → чернозем оподзоленный (рис. 2-3). Запасы общего азота в черноземе оподзоленном на участке 1 также были несколько ниже, чем в почвах на участках 2, 3. С усилением степени смытости почв запасы гумуса и азота снижались и наиболее существенно в средне- и сильносмытых вариантах. Так, например, на участке 1 в слабо-, средне- и сильносмытых почвах запасы гумуса снизились на 17, 23, 63% в сравнении с несмытой почвой; запасы общего азота – на 16, 29, 39% соответственно. Намытые почвы на участках 1, 2 характеризовались более высокими запасами гумуса и общего азота в сравнении с почвами, расположенными выше по склону.

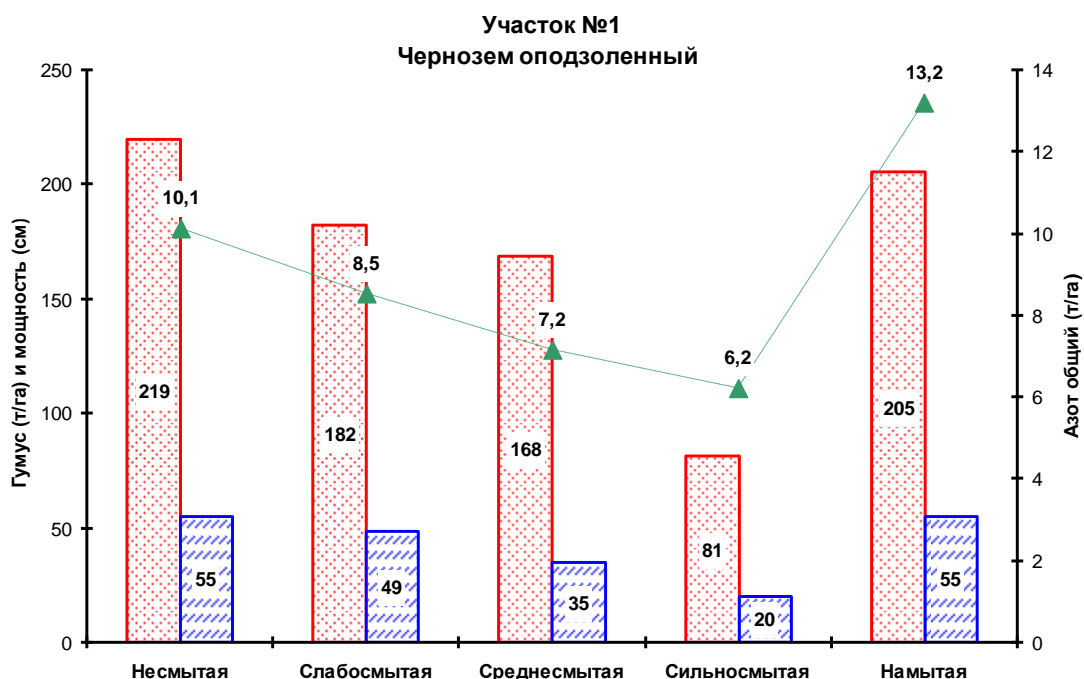


Рисунок 2. Запасы гумуса и общего азота в слое 0-50 см, мощность гумусового горизонта почв южной экспозиции склона.

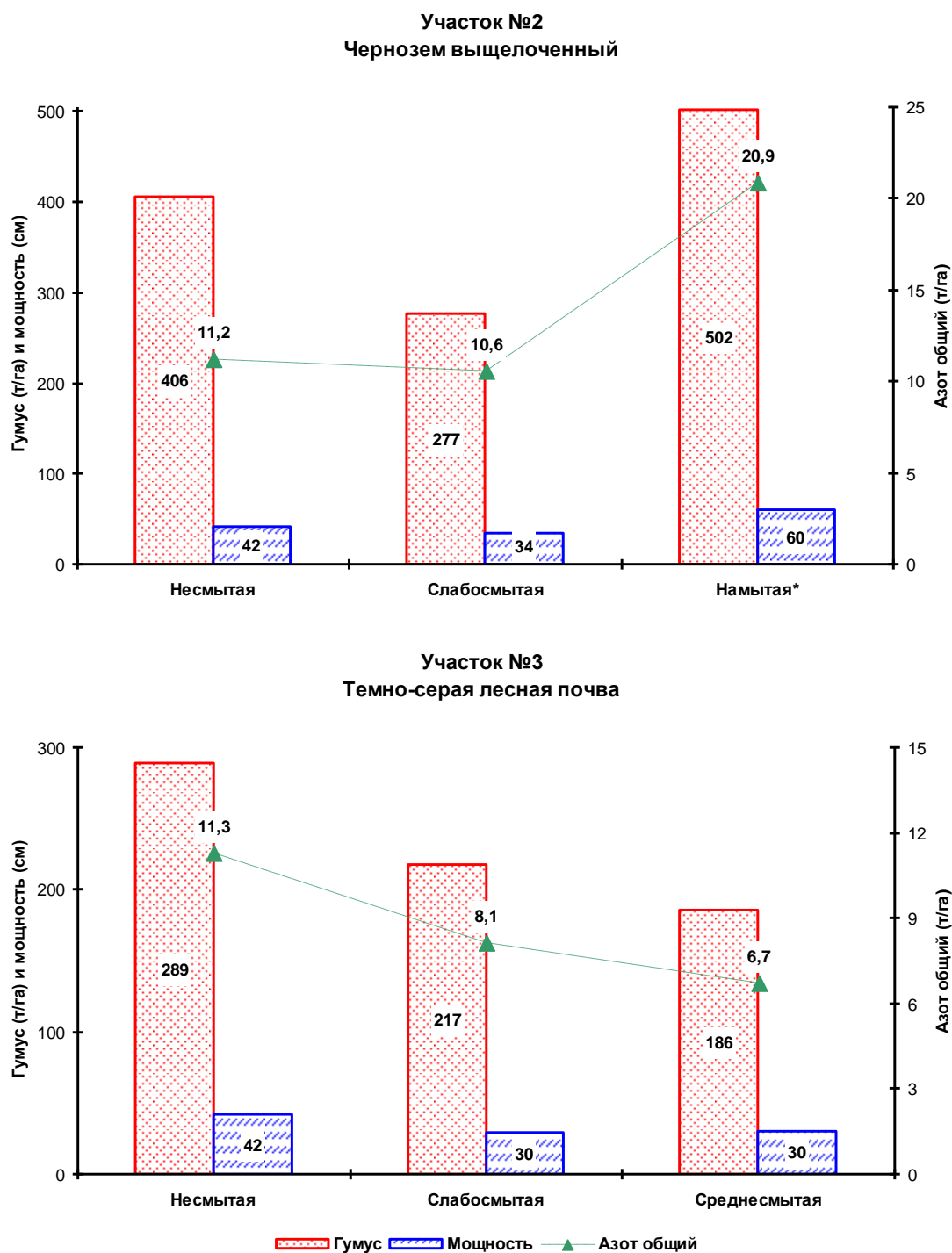


Рисунок 3. Запасы гумуса и общего азота в слое 0-50 см, мощность гумусового горизонта почв юго-восточной (Участок №2) и северо-западной (Участок №3) экспозиций склона.

* – лугово-черноземная почва.

По мощности гумусового горизонта несмытые почвы трех участков в верхней части склона характеризовались как среднемощные; смытые варианты на транзитной позиции эрозионной катены переходили в маломощные; намытые почвы, занимающие аккумулятивную позицию в подножии склона – в среднемощные и мощные (рис. 2-3).

Таким образом, полученные нами результаты подтверждают литературные данные и свидетельствуют о том, что в почвах склона под влиянием эрозии в первую очередь и в весьма значительных количествах снижаются содержание и запасы органического вещества и азота (Явтушенко, Макаров, 1996; Жилко в соавт., 1999; Танасиенко в соавт., 2016; Polyakov, Lal, 2004).

На продуктивность, показатели структуры и качества урожая зерновых культур оказывают влияние множество факторов, среди которых особо следует выделить гидротермические условия вегетационного сезона и связанные с ним особенности водного, питательного и температурного режимов почв. Известно (Скородумов, 1973; Мусохранов, 1983), что влагообеспеченность эродированных почв обычно недостаточна для формирования оптимального урожая культур. В условиях Западной Сибири, согласно исследованиям А.А. Танасиенко (1992), снижение запасов продуктивной влаги в 1,5-метровой толще черноземной эрозионной катены происходит в следующей последовательности почв: намытая > несмытая > средне- > слабо- > сильносмытая. Суммарные непродуцируемые потери влаги (поверхностный сток, физическое испарение) достигают 180 мм в несмытой почве; 200, 130 и 70 мм – в слабо-, средне- и сильносмытых вариантах соответственно. В целом, из-за ухудшения водного режима и значительных потерь иллювиальной фракции, наиболее сильно негативные последствия эрозионных процессов проявляются на сильносмытых почвах, где наблюдается резкое снижение урожайности выращиваемых культур. В тоже время намытые почвы, расположенные на аккумулятивной позиции, выгодно отличаются по урожайности зерновых культур в засушливые или неустойчивые по увлажнению годы, когда почвы на вышележащих позициях склона испытывают недостаток продуктивной влаги.

По данным ГМС «Огурцово» (Расписание погоды. Электронный ресурс: <http://rp5.ru>), участок 1 Искитимского района в 2010 году исследования характеризовался неблагоприятными гидротермическими условиями. Недобор положительных температур в мае и июле сочетался с недостатком осадков в течение всех летних месяцев и сентября. В 2014 году, несмотря на нестабильность погодных условий, когда сухая и жаркая погода резко менялась на холодную и дождливую, весеннего запаса влаги хватило для формирования более высокого урожая пшеницы. Так, на черноземе оподзоленном в 2014 г. по сравнению с 2010 г. масса зерна на несмытом варианте увеличилась в 3,8 раза, на слабо- и среднесмытых – в 2,2 раза, на сильносмытом – в 5,7 раза (рис. 4). При сравнении данных одного года исследования, параметры структуры урожая пшеницы на различных позициях склона изменялись по-разному. В 2010 году показатели общей массы пшеницы и массы зерна увеличивались в ряду несмытая → слабо- → среднесмытая, с резким снижением на сильносмытой почве. В 2014 году существенных различий по урожаю зерна между несмытым черноземом оподзоленным (20 ц/га) и смытыми вариантами (16-21 ц/га) не выявлено, максимальные значения установлены на намытой почве (33 ц/га).

Климатические условия 2011 года характеризовались невысоким, но равномерным распределением увлажнения. Тяжелосуглинистые почвы участков 2, 3 в целом обладали более благоприятным гидротермическим режимом в сравнении со среднесуглинистыми почвами участка 1, что сыграло положительную роль в формировании величины урожая. Ранее в исследованиях А.А. Танасиенко (1992) было показано, что расход влаги из почвенного запаса за теплый период в несмытом черноземе оподзоленном на 35 мм выше, чем в выщелоченном. Слабо- и среднесмытые варианты чернозема выщелоченного аккумулируют влагу теплого периода, в то время как эти же варианты чернозема оподзоленного – расходуют ее даже в больших количествах, чем несмытые, что связано с более легким гранулометрическим составом.

По нашим данным урожай зерна яровой пшеницы на участках 2, 3 был достаточно высоким с максимальными значениями на несмытых почвах (40-43 ц/га). На почвах юго-восточной экспозиции склона существенных различий в параметрах структуры урожая пшеницы не выявлено, хотя наблюдалась тенденция к снижению этих показателей на слабосмытой почве (рис. 5). На северо-западной экспозиции склона масса зерна на слабо- и среднесмытых вариантах была ниже в 3,8 раза в сравнении с несмытой почвой. Однако, в выровненных условиях влагообеспеченности модельного опыта (Якутина, Назарюк, 2007) были получены высокие урожаи зерновых культур на среднесмытых вариантах чернозема выщелоченного и темно-серой лесной почвы. Видимо в нативных условиях склона решающую роль в формировании урожая культур играют запасы продуктивной влаги в почвах на разных позициях эрозионной катены.

Если сравнивать полученные нами результаты на почвах склона с литературными данными, то в лесостепи Западной Сибири средняя урожайность яровой пшеницы на плакорных участках с преобладанием безотвальных (в основном мелких) обработок почв и низким объемом применения минеральных удобрений и средств защиты растений за 2000-2013 гг. составила 15,0 ц/га, в НСО – 14,7 ц/га (Власенко в соавт., 2014). В лесостепи Алтайского Приобья урожайность пшеницы в среднем за 2001-2015 гг. составила на экстенсивном фоне после пара и в бессменных посевах 18,9

и 9,9 ц/га соответственно, и возрастала на фоне удобрений и пестицидов до 30,4 и 17,8 ц/га (Усенко, Усенко, 2016).

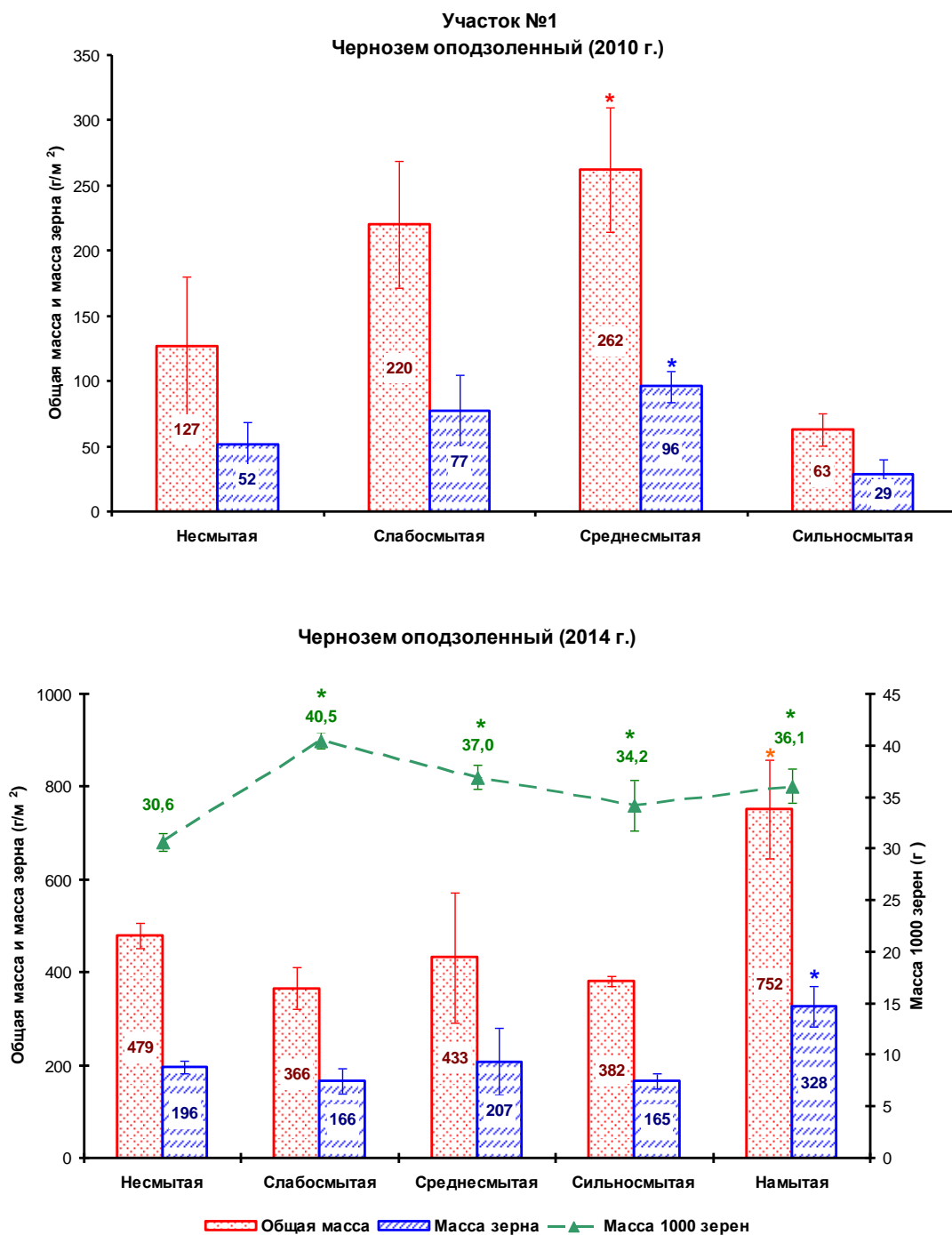


Рисунок 4. Структура урожая яровой пшеницы на почвах южной экспозиции склона.

* – показатели, статистически значимо ($p < 0,05$) отличающиеся от таковых на несмытой почве

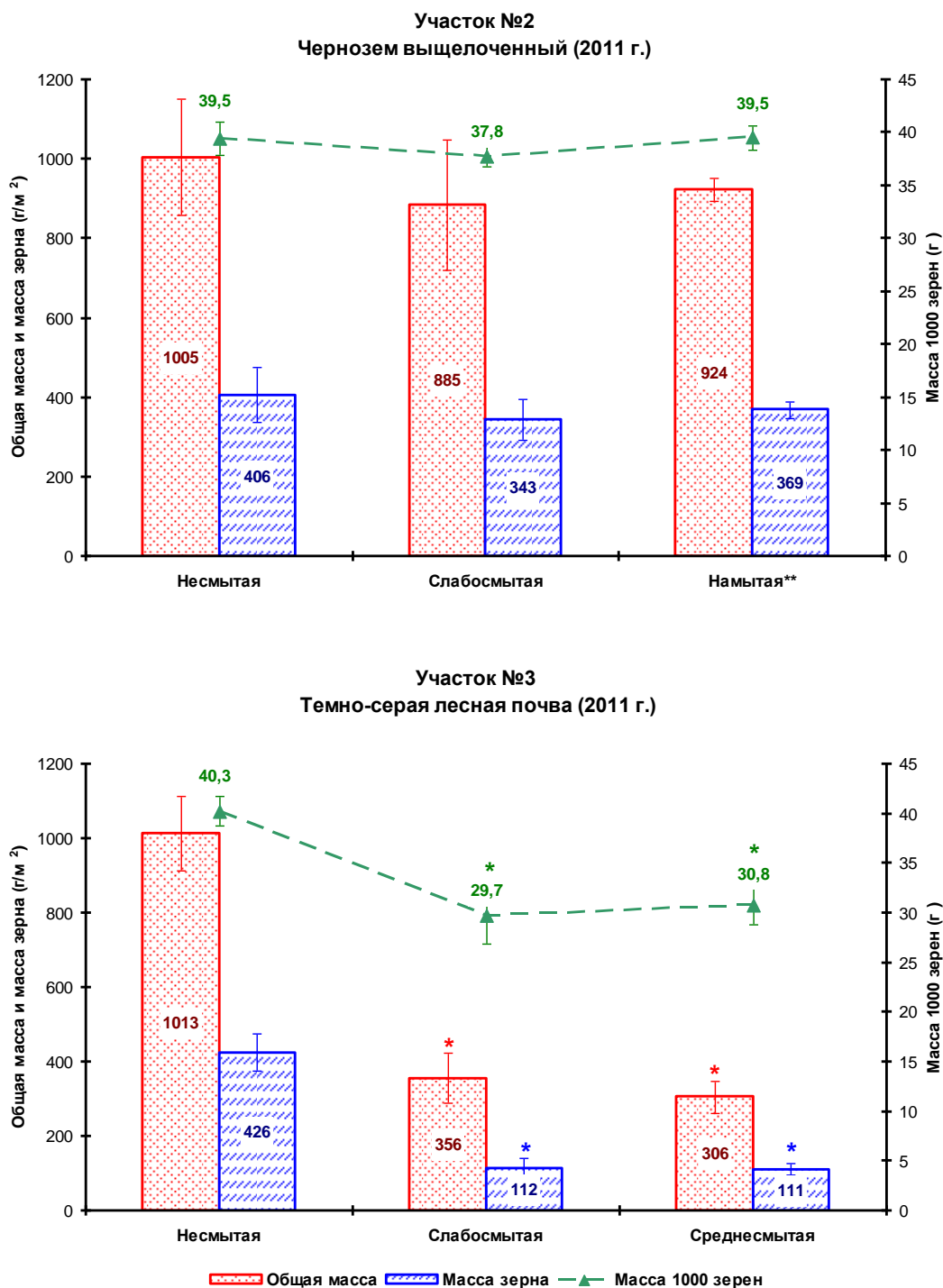


Рисунок 5. Структура урожая яровой пшеницы на почвах юго-восточной (Участок №2) и северо-западной (Участок №3) экспозиции склона

* – показатели, статистически значимо ($p < 0,05$) отличающиеся от таковых на несмытой почве; ** – лугово-черноземная почва

Масса 1000 зерен является показателем, определяющим всхожесть и жизнеспособность семян. Пшеница на почвах трех участков относилась к группе с высокой массой 1000 зерен (рис. 4-5). На черноземе оподзоленном (участок 1) данный показатель был существенно выше на смыто-намытых вариантах в сравнении с несмытым. На участке 3 максимальные значения массы 1000 зерен были получены на несмытой темно-серой лесной почве, на смытых вариантах они снизились в 1,3 раза. На почвах участка 2 существенных различий в массе 1000 зерен не установлено.

Согласно литературным данным (Якименко, 2003; Власенко в соавт., 2005; Плотников, Иванюшин, 2014), среднее содержание в яровой пшенице азота (N) составляет 2,3-2,5 (зерно) и

0,60% (солома); фосфора (Р) – 0,37-0,48 (зерно) и 0,09% (солома); калия (К) – 0,50-0,62 (зерно) и 0,75-1,5% (солома). На почвах всех участков содержание азота в зерне и соломе было низким; калия – ниже среднего (табл. 2). Содержание фосфора в зерне и соломе пшеницы на черноземе оподзоленном (участок 1) было оптимальным и даже выше среднего в соломе (2010 г.). На черноземе выщелоченном и темно-серой лесной почве (участки 2, 3) содержание фосфора в зерне соответствовало оптимальному уровню, в соломе – ниже среднего. Влияние степени смывости почв на содержание NPK в пшенице отмечено лишь в отдельных случаях.

Таблица 2

Показатели качества яровой пшеницы

Почва	Макроэлементы в зерне (над чертой) и соломе (под чертой) пшеницы			Сырой протеин в зерне, %	Доля массы зерна в общей массе пшеницы, %
	N	P	K		
% на воздушно-сухую массу					
Участок №1: склон южной экспозиции, 2010 г.					
Чоп несмытый	0,97 ± 0,08 0,26 ± 0,05	0,49 ± 0,01 0,12 ± 0,02	0,41 ± 0,04 0,74 ± 0,05	5,65 ± 0,46	41
Чоп слабосмытый	1,01 ± 0,10 0,27 ± 0,05	0,50 ± 0,02 0,16 ± 0,02	0,40 ± 0,04 0,80 ± 0,13	5,88 ± 0,58	35
Чоп среднесмытый	0,90 ± 0,07 0,29 ± 0,04	0,49 ± 0,02 0,14 ± 0,01	0,41 ± 0,05 0,85 ± 0,06	5,24 ± 0,39	37
Чоп сильносмытый	0,87 ± 0,11 0,26 ± 0,05	0,48 ± 0,01 0,15 ± 0,02	0,47 ± 0,04 1,01 ± 0,07*	5,10 ± 0,67	46
Участок №1: склон южной экспозиции, 2014 г.					
Чоп несмытый	0,94 ± 0,16 0,17 ± 0,02	0,38 ± 0,01 0,05 ± 0,01	0,41 ± 0,02 0,96 ± 0,09	5,51 ± 0,95	41
Чоп слабосмытый	1,15 ± 0,20 0,23 ± 0,04	0,42 ± 0,01* 0,10 ± 0,01*	0,43 ± 0,02 1,38 ± 0,13*	6,71 ± 1,15	45
Чоп среднесмытый	0,93 ± 0,28 0,21 ± 0,04	0,41 ± 0,01 0,13 ± 0,02*	0,47 ± 0,03* 1,19 ± 0,09	5,41 ± 1,63	48
Чоп сильносмытый	1,20 ± 0,05 0,29 ± 0,05*	0,39 ± 0,01 0,10 ± 0,02*	0,41 ± 0,02 0,91 ± 0,09	6,99 ± 0,28	43
Чоп намытый	1,17 ± 0,07 0,26 ± 0,02*	0,38 ± 0,01 0,09 ± 0,01	0,40 ± 0,02 0,84 ± 0,07	6,82 ± 0,42	44
Участок №2: склон юго-восточной экспозиции, 2011 г.					
Чв несмытый	1,01 ± 0,11 0,22 ± 0,03	0,39 ± 0,01 0,06 ± 0,02	0,41 ± 0,07 0,89 ± 0,16	5,91 ± 0,64	40
Чв слабосмытый	1,05 ± 0,09 0,27 ± 0,04	0,39 ± 0,02 0,05 ± 0,01	0,41 ± 0,05 1,13 ± 0,16	6,10 ± 0,50	39
Чл намытая	0,99 ± 0,10 0,24 ± 0,06	0,42 ± 0,04 0,06 ± 0,02	0,41 ± 0,03 1,04 ± 0,06	5,76 ± 0,59	40
Участок №3: склон северо-западной экспозиции, 2011 г.					
СЛГ несмытая	1,27 ± 0,15 0,34 ± 0,08	0,37 ± 0,02 0,05 ± 0,01	0,41 ± 0,03 1,03 ± 0,22	7,40 ± 0,90	43
СЛГ слабосмытая	1,38 ± 0,24 0,35 ± 0,06	0,32 ± 0,03 0,04 ± 0,01	0,44 ± 0,03 0,79 ± 0,08	8,05 ± 1,39	32
СЛГ среднесмытая	1,32 ± 0,21 0,34 ± 0,08	0,35 ± 0,01 0,05 ± 0,01	0,50 ± 0,06* 0,87 ± 0,05	7,72 ± 1,20	36

Примечание: Чоп – чернозем оподзоленный, Чв – чернозем выщелоченный, Чл – лугово-черноземная почва, СЛГ – темно-серая лесная почва. Представлены: среднее значение и стандартное отклонение (M±s). * – показатели, статистически значимо (p<0,05) отличающиеся от таковых на несмытой почве.

Протеин (белок) является важным питательным веществом в зерне злаковых и продуктах их переработки. В яровой мягкой пшенице содержание сырого протеина составляет в среднем 17% и варьирует в зависимости от условий минерального питания, прежде всего, содержания в почве нитратного азота (Павлов, 1992). Немаловажную роль в повышении содержания протеина, а также клейковины, играет своевременная фитосанитарная обработка посевов от вредителей и болезней. В целом, в проведенном нами исследовании, на фоне низкого содержания нитратного азота в

почвах, неблагоприятных погодных условиях и отсутствия фитосанитарных обработок, содержание сырого протеина в зерне на трех участках было очень низким (5-8%), доля массы зерна в общей массе пшеницы варьировала от 35 до 48%. Климатические условия вегетационного сезона 2014 г. в сравнении с 2010 г. положительно сказались на содержании сырого протеина и доле массы зерна в общей массе пшеницы на смытых вариантах чернозема оподзоленного.

ВЫВОДЫ

1. Питательный режим эродированных почв складывался под влиянием трансформации профиля ранее ненарушенных почв в результате воздействия эрозионных процессов различной интенсивности и антропогенных факторов. Содержание и запасы органического углерода, гумуса и общего азота снижались с усилением степени смытости чернозема оподзоленного и выщелоченного, темно-серой лесной почвы. Максимальные значения данных параметров установлены в намытой лугово-черноземной почве. Обеспеченность пшеницы нитратным азотом была низкой, легкоподвижным фосфором варьировала в пределах от среднего до высокого, обменным калием – от низкого до повышенного уровня. В целом, параметры актуального и потенциального плодородия чернозема выщелоченного и темно-серой лесной почвы тяжелосуглинистого гранулометрического состава выше, чем чернозема оподзоленного среднесуглинистого.

2. Продуктивность яровой пшеницы зависела от увлажненности года, типовой принадлежности и степени смытости почв, экспозиции склона. В условиях экстенсивного землепользования и при ограниченных влагозапасах урожай зерна на несмытых вариантах чернозема оподзоленного варьировал от 5 до 20 ц/га, чернозема выщелоченного и темно-серой лесной почвы составил порядка 40-43 ц/га. Влияние эрозии на структуру урожая яровой пшеницы наиболее четко проявилось на темно-серой лесной почве северо-западной экспозиции склона, где на слабо- и среднесмытых вариантах показатели общей массы, массы зерна и массы 1000 зерен были существенно ниже, чем на несмытой почве. На смытых вариантах чернозема оподзоленного и чернозема выщелоченного параметры структуры урожая пшеницы варьировали и были как выше, так и ниже величин, полученных на несмытых почвах. Пшеница, выращенная на намытом черноземе оподзоленном южной экспозиции склона, отличалась более высокими показателями общей массы и массы зерна в сравнении с почвами остального ряда; намытая лугово-черноземная почва – незначительно в сравнении с другими почвами склона юго-восточной экспозиции.

3. Содержание азота в зерне и соломе яровой пшеницы было низким; калия – ниже среднего; фосфора – в зерне оптимальным, а в соломе варьировало от высоких до низких величин. Содержание сырого протеина в зерне на исследованных почвах было очень низким (5-8%), доля массы зерна в общей массе пшеницы варьировало от 35 до 48%. В целом, не прослеживалась четкая закономерность между степенью смытости почвы и показателями структуры урожая пшеницы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта № VI.54.1.4. «Почвы как компонент биосферы: формирование, эволюция, экологические функции» по теме «Эколого-биогеохимическая оценка состояния естественных и антропогенных экосистем Сибири в целях поддержания экологических и рационализации утилитарных функций и сервисов почв» (№ государственной регистрации АААА-А17-117030110078-1, № в ИС 0313-2017-0003).

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИПА СО РАН: Бугровской Г.А. (лаб. агрохимии) и Михальченко Т.П. (лаб. биогеохимии почв) за помощь в выполнении лабораторно-аналитических работ; к.б.н. Гопп Н.В. (лаб. географии и генезиса почв) – за составление карты территории исследования (рис. 1); д.б.н. Танасиенко А.А. и к.б.н. Чумбаеву А.С. (лаб. почвенно-физических процессов) – за помощь в проведении полевых исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулвалеев Р.Р., Троц В.Б. Рельеф поля и продуктивность яровой пшеницы // *Теоретические и прикладные аспекты современной науки*. 2015. № 9–1. С. 85–87.
2. Агрохимические методы исследования почв. М: Наука, 1975. 656 с.
3. *Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений* / Гамзиков Г.П., Ильин В. Б., Назарюк В.М. и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. 254 с.
4. Басевич В.Ф., Макаров И.Б. Эрозионные процессы и гетерогенность пахотного горизонта дерново-подзолистых почв // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2011. № 3. С. 53–57.

5. Безуглов В.Г., Гогмачадзе Г.Д., Синиговец М.Е. Состояние с эрозией почв в России // *АгроЭкоИнфо*. 2008. № 1(2).
6. Власенко А.Н., Шарков И.Н., Иодко Л.Н. Эффективность технологий и воспроизводство плодородия черноземов лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2005. № 5. С. 16–19.
7. Власенко А.Н., Шоба В.Н., Шарков И.Н., Иодко Л.Н. Продуктивность яровой пшеницы по пару при различных технологиях в лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2014. № 5. С. 26–28.
8. Гаевая Э.А., Мищенко А.Е., Кисс Н.Н., Сафонова И.В. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в севооборотах на эрозионно-опасных склонах Ростовской области // *Зерновое хозяйство России*. 2012. № 6. С. 42–47.
9. Гамзиков Г.П., Носов В.В. Роль элементов питания в повышении урожайности яровой пшеницы в Сибири // *Вестник Международного института питания растений*. 2010. № 1. С. 7–11.
10. Гинзбург К.Е., Щеглова Г.М., Вульфийус Е.В. Ускоренный метод сжигания почв и растений // *Почвоведение*. 1963. № 5. С. 89–96.
11. Гопп Н.В., Савенков О.А., Нечаева Т.В., Смирнов В.В. Влияние морфометрических характеристик рельефа на пространственную изменчивость содержания обменного калия в агросерой типичной почве // *Агрохимия*. 2014. № 5. С. 54–63.
12. Губина Д.А. Изменение гранулометрического состава пахотных почв подтаежной зоны Томской области при водной эрозии // *Плодородие*. 2014. № 6. С. 23–24.
13. Джерард А. Дж. Почвы и формы рельефа. Комплексное геоморфолого-почвенное исследование. Пер. с англ. Л.: Недра, Ленинградское отделение, 1984. 208 с.
14. Долгополова Н.В. Рост и развитие пшеницы в зависимости от экспозиции склона в условиях Курской области // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 9. С. 60–67.
15. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства чернозема в зависимости от экспозиции и крутизны склона // *Агрохимия*. 2012. № 7. С. 10–15.
16. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства серых лесных почв склонового агроландшафта // *Агрохимия*. 2013. № 11. С. 19–25.
17. Едимечев Ю.Ф., Шпедт А.А. Моделирование продуктивности яровой пшеницы в агроландшафтах Красноярского края // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2016. № 2 (249). С. 5–12.
18. Жежер Л.В. Влияние удобрений на склоновых землях // *Почвоохранное земледелие на склонах*. Новосибирск, 1983. С. 129–134.
19. Жилко В.В., Жукова И.И., Черныш А.Ф., Цыбулька Н.Н., Тишук Л.А. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией, из дерново-палево-подзолистых почв Белоруссии // *Агрохимия*. 1999. № 10. С. 41–46.
20. Каиштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
21. Классификация и диагностика почв СССР / Состав.: Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н. и др. М.: Колос, 1977. 224 с.
22. Мусохранов В.Е. Использование эродированных земель в Западной Сибири. М.: Колос, 1983. 191 с.
23. Нечаева Т.В., Смирнова Н.В., Гопп Н.В., Савенков О.А. Изменение агрохимических параметров плодородия пахотных почв склона на юге Западной Сибири // *Плодородие*. 2017. № 2 (95). С. 2–5.
24. Павлов А.Н. Качество клейковины пшеницы и факторы, его определяющие // *Сельскохозяйственная биология*. 1992. № 1. Т. 26. С. 3–10.
25. Плотников А.М., Иванюшин Е.А. Агрохимия: методические указания для лабораторно-практических занятий, Лесниково: КГСХА, 2014. 76 с.
26. Почвенно-агрохимические проблемы интенсификации земледелия Сибири: Сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. Сибирское отделение. СибНИИЗХим. Новосибирск, 1989. 176 с.
27. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Издательство МГУ, 2001. 689 с.
28. Расписание погоды. Электронный ресурс. URL: <http://rp5.ru> (дата обращения 06.09.2018)
29. Савельева Д.А. Особенности трансформации некоторых показателей гумусного состояния пахотных почв в эрозионных ландшафтах подтайги Томской области // *Земледелие*. 2016. № 7. С. 19–23.
30. Савич В.И., Гукалов В.Н., Мансуров Б.А. Агроэкологическая оценка развития эрозии во времени и в пространстве // *Плодородие*. 2015. № 3. С. 40–42.
31. Савоськина О.А. Почвозащитные приемы обработки – важнейший резерв снижения потерь биофильных элементов на эрозионноопасных землях // *Агрохимический вестник*. 2011. № 1. С. 19–23.
32. Скородумов А.С. Эродированные почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур. Киев: Урожай, 1973. 269 с.
33. Смирнова Л.Г., Нецветаев В.П., Михайленко И.И. Урожайность сортов озимой пшеницы в условиях склоновой микроразнональности // *Агрохимия*. 2014. № 7. С. 38–44.
34. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере, 2-е издание. Новосибирск, 2012. 282 с.
35. Сухановский Ю.П., Санжарова С.И., Прущик А.В. Модель динамики содержания гумуса в эродированном черноземе Центрального Черноземья // *Агрохимия*. 2011. № 12. С. 45–52.
36. Сычев В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания «доступного» калия // *Агрохимический вестник*. 2000. № 5. С. 30–34.

37. Танасиенко А.А. Эродированные черноземы юга Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1992. 150 с.
38. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.
39. Танасиенко А.А., Якутина О.П., Чумбаев А.С. Содержание азота в нарушенных и ненарушенных черноземах и продуктах твердого и жидкого стока расчлененной территории Западной Сибири // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2016. № 2. С. 39–46.
40. Усенко В.И., Усенко С.В. Эффективность применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в зависимости от предшественника, обработки почвы и средств защиты растений в лесостепи Алтайского Приобья // *Земледелие*. 2016. № 8. С. 4–8.
41. Филиппов М., Тужикова Т. Некоторые аспекты определения сырого протеина // *Комбикорма*. 2012. № 3. С. 85–90.
42. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 349 с.
43. Черемисинов Г.А. Агрохимическая характеристика эродированных почв // *Агрохимия*. 1972. № 8. С. 136–149.
44. Явтушенко В.Е., Макаров Н.Б. Потери органического вещества и элементов питания растений из почвы в результате водной эрозии // *Агрохимия*. 1996. № 4. С. 117–123.
45. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. 231 с.
46. Якименко В.Н., Нечаева Т.В. Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири // *Вестник Международного института питания растений*. 2016. № 2. С. 9–13.
47. Якутина О.П., Назарюк В.М. Оценка плодородия эродированных почв юга Западной Сибири // *Агрохимия*. 2007. № 11. С. 10–20.
48. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Режимы основных элементов питания и продуктивность растений на эродированных почвах юга Западной Сибири // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2011. № 1. С. 16–22.
49. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Изменение плодородия эродированных черноземных почв юга Западной Сибири в зависимости от экспозиции склона // *Плодородие*. 2017. № 5(98). С. 39–42.
50. Buschiazzo D.E., Zobeck T.M. Validation of WEQ, RWEQ and WEPSSwinderosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas // *Earth Surface Landforms*. 2008. V. 33(12). P. 1839–1850. doi: [10.1003/esp.1738](https://doi.org/10.1003/esp.1738)
51. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.K., Khabirov I.K., Fruehauf M., Liebelt P. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. № 10. P. 1204–1210. doi: [10.1134/S1064229316100070](https://doi.org/10.1134/S1064229316100070)
52. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. The methods of geomorphometry and digital soil mapping for assessing spatial variability in the properties of agrogray soils on a slope // *Eurasian Soil Science*. 2017. V. 50. № 1. P. 20–29. doi: [10.1134/S1064229317010082](https://doi.org/10.1134/S1064229317010082)
53. IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports. № 106. Rome: FAO, 2014. 181 p.
54. Kiryukhina Z.P., Patsukevich Z.V. Erosion-induced degradation of the soil cover in Russia // *Eurasian Soil Science*. 2004. V. 37. № 6. P. 653–658.
55. Papiernik S.K., Schumacher T.E., Lobb D.A., Lindstrom M.J., Lieser M.L., Eynard A., Schumacher J.A. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform // *Soil & Tillage Research*, 2009. V. 102. P. 67–77. doi: [10.1016/j.still.2008.07.018](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.018)
56. Pimentel D. Soil erosion: a food and environmental threat // *Environment, Development and Sustainability*. 2006. V. 8. P. 119–137. doi: [10.1007/s10668-005-1262-8](https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8)
57. Polyakov V., Lal R. Soil erosion and carbon dynamics under simulated rainfall // *Soil Science*. 2004. № 169. P. 590–599.
58. Strauss P., Klaghofer E. Effect of soil erosion on soil characteristics and productivity // *Bodenkultur*. 2001. № 52(2). P. 147–153.
59. Webb N.P., McGowan H.A., Phinn S.R., McTainch G.H. AUSLEM (AUSTRALIAN Land Erodibility Model): a tool for identifying wind erosion hazard in Australia // *Geomorphology*. 2006. V. 78 (3-4). P. 179–200. doi: [10.1016/j.geomorph.2006.01.012](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.012)
60. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Consequences of snowmelt erosion: Soil fertility, productivity and quality of wheat on Greyzemic Phaeozem in the south of West Siberia // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2015. V. 200. P. 88–93. doi: [10.1016/j.agee.2014.10.021](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.021)
61. Zhijia Gu, Yun Xie, Yuan Gao, Xiaoyu Ren, Congcong Cheng, Sichu Wang Quantitative assessment of soil productivity and predicted impacts of water erosion in the black soil region of northeastern China // *Science of the total environment*, 2018. V. 637–638. P. 706–716. doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.05.061](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.061)

Поступила в редакцию 01.11.2018;
принята 18.11.2018; опубликована 30.11.2018

Сведения об авторах:

Якутина Ольга Петровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); oyakutina@issa-siberia.ru

Нечаева Таисия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); nechaeva@issa-siberia.ru

Смирнова Наталья Валентиновна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); smirnova@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**FERTILITY OF SOILS ON SLOPE, YIELD STRUCTURE AND
QUALITY OF SPRING WHEAT IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA**

© 2018 O.P. Yakutina, T.V. Nechaeva, N.V. Smirnova

*Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation, E-mail: oyakutina@issa-siberia.ru*

The aim of the study. *The aim of the study was to describe the fertility of Greyzemic Chernozems, Haplic Chernozem and Greyzemic Phaeozems located on erosion-prone slopes; to evaluate the yield and grain quality of spring soft wheat.*

The location and time of the study. *Research was conducted on soils of the three experimental plots. The study area was located in the southeastern part of West Siberia within the boundaries of the Bugotak Hills (called Cis-Salair region) on the right bank side of the Ob River in the Novosibirsk region in the south of West Siberia. Plot 1 was located in the Iskitim district of the Novosibirsk region on the slope of southern exposure with 0- 6° gradient and occupied by Greyzemic Chernozems with different degree of soil erosion. In the Toguchin district of the Novosibirsk region two plots were located. Plot 2 was located on the slope of southeastern exposure with 0- 6.5° gradient and occupied by Haplic Chernozems and Greyzemic Phaeozems. Plot 3 was located on the slope of northwestern exposure with 0-4.5° gradient and occupied by the non-eroded, slightly and moderately eroded Greyzemic Phaeozems. Cereal crops were spring soft wheat of two cultivars: Novosibirskaya 29 (plot 1; 2010 and 2014) and Memory of Vavenkov (plots 2, 3; 2011).*

Methodology. *Two replicate soil samples were collected from the soil profiles at the sites differing in soil erosion degree. Four wheat phytomass samples were taken by a special frame 50×50 cm.*

The main results. *Content and stock of soil organic carbon and total nitrogen decreased due to the increased soil erosion of Greyzemic Chernozems, Haplic Chernozems and Greyzemic Phaeozems (Luvic) with maximal values in the Greyzemic Phaeozem (Colluvic). The N-NO₃ in soils was low; the content of easily available phosphorus varied from the moderate to the high level, whereas the content of exchangeable potassium varied from low to increased level. Under extensive land use and restricted water reserves the wheat yield varied from 0.5 to 5 t/ha on the non-eroded Greyzemic Chernozems located on the south-exposed slope (plot 1). On the eroded soils the yield was found to be the same as on the non-eroded soil or even had a tendency to increase on slightly and moderately eroded soils. The maximal wheat yield (3.3 t/ha) was obtained on the Greyzemic Phaeozem (Colluvic). Between the non-eroded Haplic Chernozems, eroded and stratified soils of the southeastern exposure (plot 2) there were no statistically significant differences in the yield, which varied from 3.2 to 4.1 t/ha. On the non-eroded Greyzemic Phaeozems (Luvic) of the northwestern exposure of the slope (plot 3) the yield was 4.3 t/ha, while on the slightly and moderately eroded soils it decreased to 1.1 t/ha. The mass of 1000 grains of wheat indicated the group with high mass (>30 g). The nitrogen content in grain and straw was low; potassium content was below the moderate level, while the content of phosphorus in grain was found to be optimal, and in straw it varied from the high to the low level. The content of raw protein was low (5-8%). The grain accounted for 35-48% of the total aboveground wheat phytomass.*

Conclusion. Nutrient regime of eroded soils is determined by soil profile transformation due soil erosion process and its intensity, as well as due to anthropogenic factors. Potential and actual fertility of Haplic Chernozems and Greyzemic Phaeozems are higher than that of Greyzemic Chernozems. The productivity of soft spring wheat depends on the quantity of atmospheric precipitation, type and degree of soil erosion and slope exposure.

Key words: Greyzemic Chernozems; Haplic Chernozems; Greyzemic Phaeozems; eroded soils; Novosibirsk region; wheat productivity; mass of 1000 grains; raw protein; nitrogen; phosphorus; potassium in grain and straw.

How to cite: Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Fertility of soils on slope, yield structure and quality of spring wheat in the south of Western Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(3): 126–142. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Abdulvaleev R.R., Troz V.B. Field relief and spring wheat productivity, *Theoretical and applied aspects of modern science*. 2015, N^o 9–1, p. 85–87. (in Russian)
2. Agrochemical soil research methods. Moscow: Nauka Publ., 1975. 656 p. (in Russian)
3. Agrochemical properties of soil and fertilizer efficiency / Gamzikov G.P., Ilin V.B., Nazariuk V.M. et al. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1989. 254 p. (in Russian)
4. Basevich V.F., Makarov I.B. Erosive processes and heterogeneity of arable horizon of soddy-podsolic soils, *Agrochemistry and ecology problems*, 2011, N^o 3, p. 53–57. (in Russian)
5. Bezuglov V.G., Gogmachadze G.D., Sinegovz V.E. Condition with soil erosion in Russia, *AgroEcoInfo*. 2008, N^o1(2). (in Russian)
6. Vlasenko A.N., Sharkov I.N., Iodko L.N. Efficiency of technologies and reproduction of fertility of chernozems of the forest-steppe of Western Siberia, *Zemledelie*, 2005, N^o5, p. 16–19. (in Russian)
7. Vlasenko A.N., Shoba V.N., Sharkov I.N., Iodko L.N. Productivity of spring wheat under different technologies in the central forest-steppe of Western Siberia, *Zemledelie*, 2014, N^o5, p. 26–28. (in Russian)
8. Gaevaya E.A., Mishchenko A.E., Kiss N.N., Safonova I.V. Productivity and quality of winter wheat in crop rotations on erosion dangerous slopes of Rostov region, *Grain Economy of Russia*, 2012, N^o6, p. 42–47. (in Russian)
9. Gamzikov G.P., Nosov V.V. The role of nutrients in increasing the yield of spring wheat in Siberia, *Bulletin of the International Plant Nutrition Institute*, 2010, N^o 1, p. 7–11. (in Russian)
10. Ginzburg K.E., Shcheglova G.M., Wulfius E.V. Accelerated method of burning soils and plants, *Soil Science*. 1963, N^o5, p. 89–96. (in Russian)
11. Gopp N.V., Savenkov O.A., Nechaeva T.V., Smirnov V.V. Effect of relief morphometric characteristics on the spatial variability of exchangeable potassium in an agro-gray typical soil, *Agricultural Chemistry*, 2014, N^o5, p. 54–63. (in Russian)
12. Gubina D.A. Changes of the particle size distribution in arable soils of the subtaiga zone in the Tomsk region under water erosion, *Plodorodie*. 2014, N^o6, p. 23–24. (in Russian)
13. Gerard A.J. Soil and landforms. Complex geomorphological and soil research. Per. From English. Leningrag: Nedra Publ., Leningrad Branch, 1984. 208 p. (in Russian)
14. Dolgopolova N.V. Growth and development of spring wheat depending on slope exposure in the region Kursk, *Bulletin of the Kursk state agricultural academy*, 2015, N^o9, p. 60–67. (in Russian)
15. Dubovik E.V., Dubovik D.V. Agrochemical properties of leached Chernozem depending on the exposure and steepness of the slope, *Agricultural Chemistry*, 2012, N^o 7, p. 10–15. (in Russian)
16. Dubovik E.V., Dubovik D.V. Agrochemical properties of grey forest soils in sloped agrolandscape, *Agricultural Chemistry*, 2013, N^o11, p. 19–25. (in Russian)
17. Edimeyichev Yu.F., Shpedt A.A. Modeling spring wheat productivity in agrolandscapes of Krasnoyarsk Territory, *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2016, N^o2(249), p.5–12. (in Russian)
18. Zhezher L.V. Influence of fertilizers on sloping lands. In book: *Soil conservation on the slopes*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, p. 129–134. (in Russian)
19. Zhilko V.V., Zhukova I.I., Chernysh A.F., Tsybulka N.N., Tishuk L.A. Losses of humus and macronutrients caused by water erosion from sod-pale-podzolic soils of Belarus, *Agricultural Chemistry*, 1999, N^o10, p.41–46. (in Russian)
20. Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. Agroecology of soil slopes. Moscow: Kolos Publ., 1997. 240 p. (in Russian)
21. Soil classification and diagnostics of the USSR / Compilers: Egorov V.V., Friedland V.M., Ivanova E.N., Rozov N.N. and etc. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian)
22. Musokhranov V.E. Use of eroded lands in Western Siberia. Moscow: Kolos Publ., 1983. 191 p. (in Russian)
23. Nechaeva T.V., Smirnova N.V., Gopp N.V., Savenkov O.A. Changes in the agrochemical parameters of fertility of sloped arable soils in the southern regions of Western Siberia, *Plodorodie*, 2017, N^o2(95), p.2–5. (in Russian)
24. Pavlov A.N. The quality of wheat gluten and its determinants, *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 1992, N^o1, V. 26, p. 3–10. (in Russian)

25. Plotnikov A.M., Ivanyushin E.A. Agricultural chemistry: methodical instructions for laboratory and practical classes. Lesnikovo: KGSNA Publ., 2014. 76 p. (in Russian)
26. Soil-agrochemical problems of intensification of agriculture in Siberia: Collection of scientific papers / VASHNIL. Siberian Branch. SibNIIZHim. Novosibirsk, 1989. 176 p. (in Russian)
27. Practical work on Agricultural Chemistry / Ed.: V.G. Mineev. Moscow: Moscow State University Publishing House, 2001. 689 p. (in Russian)
28. Weather Schedule. Electronic resource. URL: <http://rp5.ru> (date of the application 06.09.2018) (in Russian)
29. Saveleva D.A. Transformation peculiarities of some indicators of humus state of arable soils in erosion landscapes in Sub-Taiga Zone of Tomsk Region, *Zemledelie*, 2016, N⁰⁷, p. 19–23. (in Russian)
30. Savich V.I., Gukalov V.N., Mansurov B.A. Agroecological estimation of erosion development in time and space, *Plodorodie*, 2015, N⁰³, p.40–42. (in Russian)
31. Savoskina O.A. Soil-protecting devices of treatment - the most important reserve of biophilus elements' losses decrease on erosion dangerous lands, *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiiy vestnik)*, 2011, N⁰¹, p. 19–23. (in Russian)
32. Skorodumov A.S. Eroded soil and crop productivity. Kiev: Urozhai Publ., 1973. 269 p. (in Russian)
33. Smirnova L.G., Netsvetaev V.P., Mikhailenko I.I. Yielding capacity of winter wheat cultivars under conditions of slope microzonality, *Agricultural Chemistry*, 2014, N⁰⁷, p. 38–44. (in Russian)
34. Sorokin O.D. Applied statistics on the computer, second edition. Novosibirsk, 2012. 282 p. (in Russian)
35. Sukhanovsky Yu.P., Sanzharova S.I., Prushchik A.V. Humus dynamics model in eroded chernozem of the Central Chernozemic Zone, *Agricultural Chemistry*, 2011, N⁰¹², p. 45–52. (in Russian)
36. Sychev V.G. Opportunities to improve the gradation of the content of "available" potassium, *Agrochemical Herald (Agrokhimicheskiiy vestnik)*, 2000, N⁰⁵, p.30–34. (in Russian)
37. Tanasienko A.A. Eroded chernozems of the south of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 1992. 150 p. (in Russian)
38. Tanasienko A.A. Specific features of soil erosion in Siberia. Novosibirsk: Published by Siberian branch of RAS, 2003. 176 p. (in Russian)
39. Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Content of nitrogen in eroded and non-eroded Chernozems and products of sediments and runoff of dessected territory of West Siberia, *Agrochemistry and ecology problems*, 2016, N⁰², p.39–46. (in Russian)
40. Usenko V.I., Usenko S.V. Efficiency of mineral fertilizers for spring wheat in dependence of the forecrop, soil cultivation and plant protection means in the forest-steppe of the Altai Ob Region, *Zemledelie*, 2016, N⁰⁸, p. 4–8. (in Russian)
41. Filippov M., Tuzhikova T. Some aspects of determining raw protein, *Kombikorma*. 2012, N⁰³, p. 85–90. (in Russian)
42. Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use. Novosibirsk: Published by Siberian branch of RAS, 2009. 349 p. (in Russian)
43. Cheremisinov G.A. Agrochemical characteristics of eroded soils, *Agricultural Chemistry*, 1972, N⁰⁸, p.136–149. (in Russian)
44. Yavtushenko V.E., Makarov N.B. Loss of organic matter and plant nutrients from soil due to water erosion, *Agricultural Chemistry*, 1996, N⁰⁴, p.117–123. (in Russian)
45. Yakimenko V.N. Potassium in agrocenoses of Western Siberia. Novosibirsk: Published by Siberian branch of RAS, 2003. 231 p. (in Russian)
46. Yakimenko V.N., Nechaeva T.V. Action and aftereffects of potash fertilizers in Western Siberia, *Bulletin of the International Plant Nutrition Institute*, 2016, N⁰², p. 9–13. (in Russian)
47. Yakutina O.P., Nazariuk V.M. Estimation of fertility of eroded soils in the south of Western Siberia, *Agricultural Chemistry*, 2007, N⁰¹¹, p. 10–20. (in Russian)
48. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. The main nutritious regimes and plant production on the eroded soils in the south of West Siberia, *Agrochemistry and ecology problems*, 2011, N⁰¹, p.16–22. (in Russian)
49. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Changes in fertility of eroded chernozems in the southern regions of Western Siberia depending on slope exposure, *Plodorodie*, 2017, N⁰⁵ (98), p.39–42. (in Russian)
50. Buschiazzo D.E., Zobeck T.M. Validation of WEQ, RWEQ and WEPSwinderosion for different arable land management systems in the Argentinean Pampas, *Earth Surface Landforms*, 2008, 33(12), p.1839–1850. doi: [10.1003/esp.1738](https://doi.org/10.1003/esp.1738)
51. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.K., Khabirov I.K., Fruehauf M., Liebelt P. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49, N⁰¹⁰, p. 1204-1210. doi: [10.1134/S1064229316100070](https://doi.org/10.1134/S1064229316100070)
52. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. The methods of geomorphometry and digital soil mapping for assessing spatial variability in the properties of agrogray soils on a slope, *Eurasian Soil Science*, 2017, V. 50, N⁰¹, p. 20–29. doi: [10.1134/S1064229317010082](https://doi.org/10.1134/S1064229317010082)
53. IUSS Working Group WRB, World Reference Base for Soil Resources International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports. № 106. Rome: FAO, 2014. 181 p.

54. Kiryukhina Z.P., Patsukevich Z.V. Erosion-induced degradation of the soil cover in Russia, *Eurasian Soil Science*, 2004, V. 37, N^o6, p. 653–658.
55. Papiernik S.K., Schumacher T.E., Lobb D.A., Lindstrom M.J., Lieser M.L., Eynard A., Schumacher J.A. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform, *Soil & Tillage Research*, 2009, V. 102, p.67–77. doi: [10.1016/j.still.2008.07.018](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.018)
56. Pimentel D. Soil erosion: a food and environmental threat, *Environment, Development and Sustainability*, 2006, V. 8, p. 119–137. doi: [10.1007/s10668-005-1262-8](https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8)
57. Polyakov V., Lal R. Soil erosion and carbon dynamics under simulated rainfall, *Soil Science*, 2004, No169, p. 590–599.
58. Strauss P., Klaghofer E. Effect of soil erosion on soil characteristics and productivity, *Bodenkultur*. 2001, N^o52(2), p.147–153.
59. Webb N.P., McGowan H.A., Phinn S.R., McTainsch G.H. AUSLEM (AUStralian Land Erodibility Model): a tool for identifying wind erosion hazard in Australia, *Geomorphology*, 2006, V. 78 (3-4), p. 179–200. doi: [10.1016/j.geomorph.2006.01.012](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.012)
60. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Consequences of snowmelt erosion: Soil fertility, productivity and quality of wheat on Greyzemic Phaeozem in the south of West Siberia, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, V. 200, p. 88–93. doi: [10.1016/j.agee.2014.10.021](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.021)
61. Zhijia Gu, Yun Xie, Yuan Gao, Xiaoyu Ren, Congcong Cheng, Sichu Wang Quantitative assessment of soil productivity and predicted impacts of water erosion in the black soil region of northeastern China, *Science of the total environment*, 2018, V. 637–638, p. 706–716. doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.05.0613](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.0613)

Received 01 November 2018

Accepted 18 November 2018

Published 30 November 2018

About the authors:

Yakutina Olga P. – Cand. of Biol. Sci., Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); oyakutina@issa-siberia.ru

Nechaeva Taisia V. – Cand. of Biol. Sci., Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); nechaeva@issa-siberia.ru

Smirnova Natalya V. – Cand. of Biol. Sci., Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); smirnova@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

УДК 631.4
doi: 10.31251/pos.v1i3.30

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПОЧВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

© 2018 В.А. Рожков

Адрес: ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский перулок, 7, стр.2, г.Москва, 109017, Россия. E-mail: rva39@mail.ru

В задачах классификации информативность признаков означает относительный вклад каждого из них в разделение почв, горизонтов, образцов. Чем в большей мере данный признак почвы отличает ее от другой, тем он более информативен. Высокая вариация значений признака может скрывать неоднородность выборки и потенциальное деление ее на группы объектов. Но есть и более сложные многомерные оценки, обладающие свойствами критериев, использующие не только варьирование значений признаков, но и их взаимосвязь между собой. Это метод главных компонент, многомерные дисперсионный, кластерный и другие статистические анализы. Формализация концепций, определений и методов классификаций почв является наиболее актуальной проблемой почвоведения. От создания многочисленных списков почв пора приступать к научному подходу на основе числовых информационных технологий и математики. Количественная оценка информативности почвенных признаков является первоочередной задачей на этом пути.

Ключевые слова: информативность признаков; система информативности признаков; показатели и критерии информативности; численная классификация почв; формализация классификации.

Цитирование: Рожков В.А. Оценка информативности почвенных признаков // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.143 – 150.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема выбора признаков (свойств, состава, отношений и др. показателей) объектов классификации и их классов – по составу, числу и шкалам – является принципиальной в задачах классификации и классифицирования (распознавания). Основная идея направлена на формализацию описаний и организацию единого пространства признаков, определяющих тот или иной таксономический уровень.

По существу, речь идет о формировании образа объекта исследования – горизонта, профиля, почвы, структуры почвенного покрова. Система информативных признаков (СИП) обеспечивает построение классификации, соответствующей поставленным целям.

Доступные коммерческие пакеты программ типа STATISTICA недостаточно полно и четко обращают внимание пользователей на учете шкал признаков, определяющих допустимые виды формальных операций и методов статистической обработки данных, что снижает достоверность результатов и выводов. Поэтому приводится таблица 1 описаний шкал, чтобы сократить время их поиска в других публикациях.

Э.Мах (1838-1916) – идеолог монизма – выдвинул идею сокращения пространства показателей: «Задача науки – искать константу в естественных явлениях, способ их связи и взаимозависимости. Ясное и полное научное описание делает бесполезным повторный опыт, экономит тем самым на мышлении. При выявленной взаимозависимости двух феноменов, наблюдение одного делает ненужным наблюдение другого, определенного первым. Также и в описании может быть сэкономлен труд благодаря методам, позволяющим описывать один раз и кратчайшим путем наибольшее количество фактов... Всякая наука имеет целью заменить, т.е. сэкономить опыт, мысленно воспроизводя и предвосхищая факты...» (Новейший философский словарь, 2001, с. 608).

Кроме экономии на анализах минимизация описаний несет важную методологическую функцию. У.Р. Эшби отмечает: «...если человек не справляется с огромными потоками информации, то выход надо искать не только в увеличении памяти электронно-вычислительных машин. Нужно идти по пути Ньютона: искать обобщения, находить способы компактного выражения информации об окружающем мире, опираясь на объективные законы природы» (Лук, 1965, с. 11).

Вопрос состоит в том, как оценить информативность каждого признака, чтобы построить их минимальную информативную комбинацию.

Шкалы значений признаков (Рожков, 2011)

Названия шкалы	Допустимые в данной шкале					статистическая обработка	Примеры	
	Преобразования	Операции*						
		1	2	3	4	5		
Номинальная (наименований, классификационная)	Взаимнооднозначные	+	-	-	-	-	1) распределение частот, 2) определение модального класса	Цвет, структура, индексы почв и горизонтов, форма границ
Порядка (ординальная)	Монотонные непрерывные	+	+	-	-	-	1, 2, 3) оценка медианы, 4) центилей, 5) ранговая корреляция	Степень оподзоленности, окультуренности, влажность, плотность
Интервалов	$y(x)=ax+b$ $a>0$	+	+	+	-	-	1-5, 6) оценка математического ожидания, 7) дисперсия, 8) асимметрия, 9) моменты	Температура, абсолютный возраст
Разностей	$y(x)=ax+b$ $a=1$	+	+	+	+	-	1-9	Определяемые по разности в сумме показатели
Отношений	$y(x) = ax$ $a>0$	+	+	+	-	+	Все возможные	Глубины, мощности
Абсолютная	$y(x) = x$ $a=1$	+	+	+	+	+	Все возможные	Количество образцов, горизонтов

* 1 – равно (=) или неравно (\neq); 2 – больше ($>$) – меньше ($<$); 3 – $(x_1-x_3)/(x_2-x_3)$; 4 – (x_1-x_2) ; 5 – x_1/x_2 , где x_{1-} значения признака

ОСНОВНЫЕ АЛГОРИТМЫ

Описываются наиболее апробированные и доступные методы оценок для создания систем информативности признаков.

Коэффициент вариации может оказаться хорошим индикатором неоднородности выборки и существования классов объектов. В почвоведении использовался корреляционный метод оценки информативности показателей: как указывал Мах, из двух высоко коррелирующих признаков достаточно оставить один, другой не добавляет информации.

О тесноте сопряженности признаков можно судить по дендрограмме их сходства. Важно, что дендрограммы, в отличие от корреляции, можно рассчитывать и для качественных признаков, т.е. номинальных, бинарных, порядковых и пр.

Некоторое указание дает простая вариация значений признаков: слабая вариация означает слабую относительную информативность и наоборот.

$$V = S/M$$

где S – среднее квадратическое отклонение, а M – среднее арифметическое значение почвенного признака. Задается в % или в долях единицы.

Предполагается, что чем больше величина коэффициента, тем информативнее признак. Опыт показывает, что при $V \leq 30\%$ признак можно считать однородным, обычно с нормальным распределением. Вариация $V < 100\%$ свидетельствует об одновершинном распределении значений признака. И только при $V > 100\%$ кривая распределения многовершинная, а, значит, вероятно разделение классов по этому признаку. Показатель информативности, основанный на коэффициенте вариации, характеризует внутренние свойства признаков, а расчеты выполняют только в арифметических шкалах (Рожков, 2011).

Мерой информативности может служить коэффициент корреляции между признаками:

$$R_{jl} = \frac{1}{(n-1)S_j * S_l} \sum (x_{ij} - M_j) * (x_{il} - M_l)$$

где X_{ij} - i-тое значение j-го признака.

Из двух сильно коррелирующих признаков целесообразно оставить лишь один, не имеющий высоких корреляций с другими признаками почв. Этот метод также применим лишь в арифметической шкале.

Для демонстрации некоторых других расчетов в таблице 2 приведены реальные почвенные данные в арифметической шкале, хотя алгоритмы последующих расчетов применимы для любых шкал (Рожков, Симакова, 1974).

Таблица 2

Характеристика образцов из профиля дерново-подзолистой (Пд) почвы

№№ п.п.	Горизонты	Значения признаков						
		рН	Гумус %	ГК, мг-экв	и л		Вынос, %	
					физ.глина %		ила	Са-Mg
1	2	3	4	5	6	7		
1	А _{пах}	5,0	1,8	4,0	13	30	-56	-46
2		5,0	2,2	4,6	13	35	-54	-89
3		5,0	1,8	3,8	9	40	-62	-52
4	А ₂	4,8	0,4	2,6	9	30	-69	-76
5		4,4	0,3	3,1	14	31	-52	-76
6		5,4	0,5	2,2	7	34	-69	-57
7	А ₂ В	4,2	0,5	4,2	26	44	-10	-42
8		4,1	0,4	5,1	39	54	36	-25
9		4,9	0,5	4,7	35	54	3	-33
10	В	4,7	0,3	2,6	33	52	17	-18
11		4,2	0,4	4,4	32	48	1	-9
12		4,3	0,4	4,3	31	49	16	-17

На рисунке 1 приведена дендрограмма сходства этих объектов.

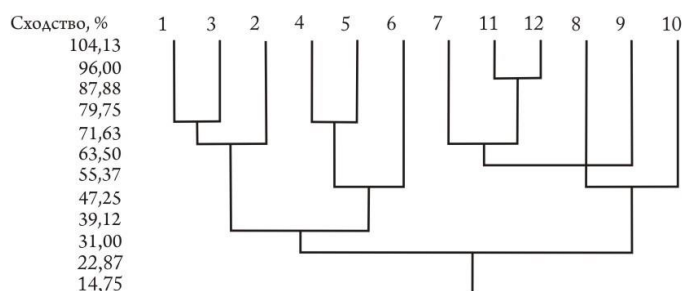


Рисунок 1. Дендрограмма сходства описаний образцов Пд почвы

Четко выделяются группы образцов из горизонтов А (1-3) и А₂ (4-6). Горизонты А₂В и В перемешаны, что вполне объяснимо трудностью отбора «чистых» образцов.

Структура этих двенадцати образцов, определенная своеобразием семи их описаний, представлена на рисунке 2.

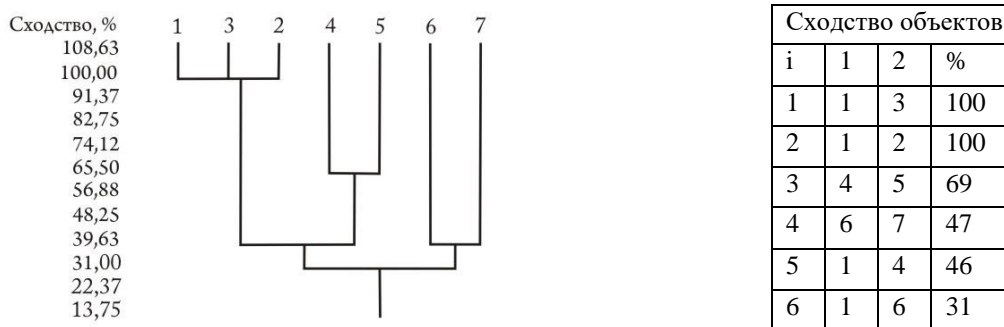


Рисунок 2. Сходство 7 описаний 12 образцов из генетических горизонтов Пд почвы

Свойства под номерами 1-3 (рН, гумус и ГК - гидролитическая кислотность) характеризуют горизонты одинаково, потому что их сходство рано 100%. Предположительно из них можно сохранить только одно, а какое – решение за исследователем или за применением дополнительных методов.

Достоинство этого метода в том, что он применим для значений признаков в любой шкале – от номинальной до абсолютной.

Метод главных компонент (МГК) позволяет оценить обобщенную информационную нагрузку признаков. Можно исключить признаки, не проявившие существенного вклада в разнообразие объектов. Однако это возможно, когда имеет место дифференциация выборки на классы. В противном случае веса признаков будут примерно одного порядка.

Метод выдает статистическую характеристику признаков, корреляционную матрицу описаний, собственные числа и вектора, а также распределение образцов в пространстве ГК.

i	Среднее	Среднее квадратическое отклонение
1	4,7	0,4
2	0,8	0,7
3	3,8	0,9
4	21,7	11,9
5	41,8	9,5
6	-2,9	38,9
7	-43,3	23,4

Корреляционная матрица признаков:

1 : (2) 0.50 (3) -0.47 (4) **-0.68** (5) -0.49 (6) **-0.70** (7) -0.48

2 : (3) 0.26 (4) -0.50 (5) -0.41 (6) -0.50 (7) -0.34

3 : (4) 0.55 (5) 0.49 (6) 0.52 (7) 0.41

4 : (5) **0.93** (6) **0.98** (7) **0.84**

5 : (6) **0.93** (7) **0.85**

6 : (7) **0.85**

Собственные числа – это дисперсии свойств на ГК1 и ГК2. Их сумма более 70% от общей, что обещает четкое разделение групп образцов.

i	Собственные числа	%
1	4,69	67
2	1,26	85

Собственные вектора корреляционной матрицы:

ГК1	-0,34	-0,24	0,26	0,45	0,43	0,45	0,40
ГК2	0,09	<u>-0,73</u>	-0,67	0,001	-0,04	0,02	-0,04

Примечание: **жирным шрифтом** выделены информативные ГК1, подчеркнутый курсив – информативные ГК2

Параметры новых координат ГК1 и ГК2 являются весами признаков и указывают (выделены жирным курсивом) наиболее информативные из них. На ГК1 это содержание ила, физической глины и вынос ила и $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ (%). На ГК2 наиболее информативным оказался гумус (выделен подчеркнутым курсивом).

Следовательно, из трех признаков (1-3), на 100% сходных на дендрограмме рис. 2, следует оставить второй (гумус), а исключить признаки 1 и 3. Именно выделенные признаки с наибольшими весами определили распределение образцов в плоскости первых двух главных компонент (рис. 3):

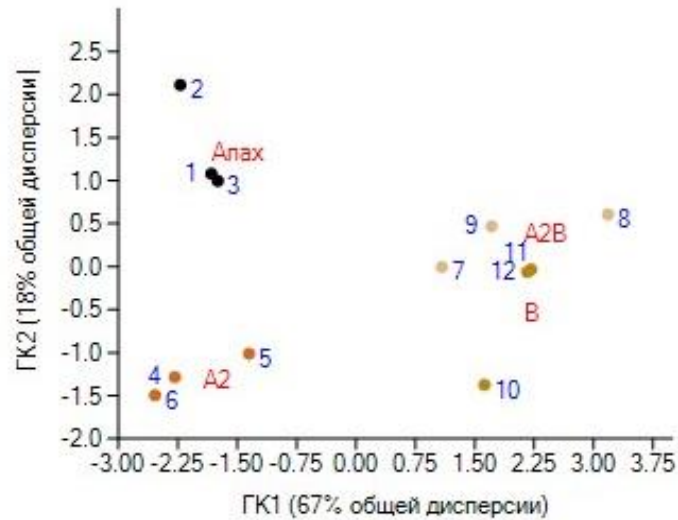


Рисунок 3. Образцы из таблицы 2 в плоскости первых двух главных компонент

Картина полностью согласуется с дендрограммой свойств (рис. 2): компактные группы 1-3, 4-6 и более размытые 7-9 и 10-12.

Метод главных компонент включает в расчет и обобщает сочетание двух выше приведенных подходов при выборе наиболее информативных свойств почв при создании СИП.

Самый простой метод оценки информативности признаков многомерных объектов основан на очевидности. На рисунке 4 представлены дендрограммы объектов, построенные по убывающим количествам признаков. На нем видно, что сокращение числа показателей с 38 до 13 не изменяет вида дендрограммы, следовательно, исключенные показатели не несут информации о структуре взаимоотношений множества объектов. Дальнейшее исключение признаков ведет к резкой дезорганизации этой структуры, т.е. исключение признаков необходимо прекратить.

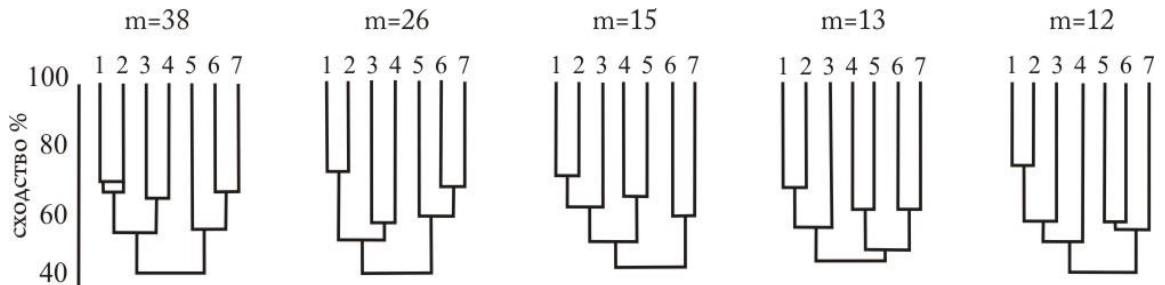


Рисунок 4. Оценка информативности признаков методом исключения

Если позволяет объем исходных данных (число объектов существенно больше числа признаков), то применимы средства многомерной статистики.

Для проверки отношений классов объектов используют многомерные статистические критерии. Один из них основан на сопоставлении расстояний Махаланобиса между классами по полному и сокращенному набору признаков (Рао, 1968; Рожков, Симакова, 1973):

$$F = \frac{(n1 * n2 - 1) * n1 * n2 * (D2p - D2q)}{q - p * (n1 + n2)(n1+n2-2)+n1 * n2 * D2p}$$

где F-критерий имеет $f1 = q - p$ и $f2 = n1 + n2 - q - 1$ степеней свободы; $n1$ и $n2$ - число объектов в сопоставляемых классах; q и p - исходное и сокращенное число признаков; ($q > p$);

где $D2q$ и $D2p$ -расстояния Махаланобиса: $D2q = (Mq - Mp)' S^{-1} (Mq - Mp)$.

Если $F \leq F_{\alpha}$, f_1 , f_2 , то это означает, что исключение признака не привело к потере информации. Иначе исключение признаков прекращается.

В основу следующего метода положен критерий потери информации, рассчитываемым с использованием многомерного дисперсионного анализа (Рожков, 2011). Решением является оценка потери информации сопоставлением варьирования (сходства) признаков по полному и сокращенному набору показателей:

$$\chi^2 f = -n(p+k)/2 * \ln(\lambda_q / \lambda_p)$$

где $f = p(k-1)$, k – число классов; $\lambda_q = |W|/|T|$ - отношение определителей матриц внутри- и межклассового варьирования (сходства) q признаков.

Эти подходы требуют значительного объема данных – по крайней мере, превосходства числа объектов над числом выбранных признаков.

ОБСУЖДЕНИЕ И ДОПОЛНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Качество классификаций также может служить мерой информативности признаков. Наиболее распространенным из них является отношение среднего внутриклассового сходства объектов к межклассовому: чем оно больше, тем более четкое разделение объектов на классы (Рожков, 2011).

Сравнение двух ординатных классификаций проводится с помощью полихорического показателя связи Чупрова по количеству совпадающих объектов по классам обоих разбиений (Рожков, 1989). Сравнение иерархических классификаций (дендрограмм) проводится методом, предложенным другими исследователями ранее (Sokal, Rohlf, 1962).

Сложность алгоритмов и требований, отсутствие доступных компьютерных программ, видимо, объясняют недостаточно широкое приложение этих методов, хотя они позволяют порой в 2-5 раз уменьшить затраты на лабораторные анализы почв.

В реальных задачах удавалось сократить пространство признаков в зависимости от условий на 40-80%. Кроме экономии на анализах минимизация описаний несет важную методологическую функцию экономии мышления и генерации новых идей.

Сочетание коэффициента вариации, корреляции и ГК позволило сократить число признаков в распознавании почв поймы Москва-реки на 75% (с 30 до 5) (Рожков, Прошина, 1977, с. 106-116). Также была показана возможность сокращения числа признаков при автоматической классификации почв поймы р. Оби на 46%. (Шеремет, Рожков, Афанасьева, 1981).

Примеры применения разных приемов создания СИП излагались также в ранее опубликованных работах (Рожков, Симакова, 1973; Рожков, Симакова, Юшкевич, 1988; и др.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Информативность признаков является относительной в том смысле, что конкретные классы объектов различаются с точностью до данного набора признаков и не обладают таким свойством при другом их наборе.

Исключение малоинформативных показателей имеет сегодня материальную основу: анализы стали довольно дорогими, а опыт показывает, что объем анализов можно сократить более чем вдвое. Избыточны привычные всем таблицы горизонт-свойства, однако еще только в будущем предстоит нашей науке освоить цифровую культуру в исследованиях.

Применение математических методов требует четких формулировок и конкретной постановки задачи, что само по себе оказывает влияние на почвоведов, заставляя его более глубоко осмыслить решаемую проблему. Применение математики - это не просто использование количественных методов, а, главное, строгий язык, стиль мышления. Сбор данных должен быть подчинен требованиям последующей обработки математическими методами.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева поможет в освоении методов формализации классификации, как развития традиционных подходов составления экспертных списков почв. Институт заинтересован в распространении своих программных средств с целью их внедрения и дальнейшей апробации для создания полностью формализованной классификации почв России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лук А. Формула гениальности // *Знание – сила*. 1965. № 3. с. 11.
2. Новейший философский словарь. Минск: Интерпрессервис; Книжный дом, 2001. 1280 с.
3. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение. М.: Наука. 1968. 548 с.
4. Рожков В.А. Почвенная информатика. М.: Агропромиздат, 1989. 222 с.
5. Рожков В.А. Формальный аппарат классификации почв // *Почвоведение*. 2011. № 12 с. 1411-1424.
6. Рожков В.А., Прошина Н.В. Опыт численной таксономии почв // *Почвоведение*. 1977. № 8. С. 106-116.
7. Рожков В.А., Симакова М.С. Статистическое исследование профилей дерново-подзолистых почв на покровных суглинках // *Почвоведение*. 1973. № 12. С. 110-120.
8. Рожков В.А., Симакова М.С., Юшкевич С.Х. Таксономический анализ почв методами численной классификации // *Почвоведение*. 1988. № 5. С.7-14.
9. Шеремет Б.В., Рожков В.А., Афанасьева Т.В. Применение математических методов для классификации и диагностики почв поймы Средней Оби // *Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение*. 1981. № 1. С. 11-20.
10. Sokal R.R., Rohlf F.I. The comparison of dendrograms by the objective methods // *TAXON*. 1962. № 11. P. 33-40. doi: [10.2307/1217208](https://doi.org/10.2307/1217208).

Поступила в редакцию 27.09.2018

Принята 08.12.2018

Опубликована 09.12.2018

Сведения об авторе:

Рожков Вячеслав Александрович – член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Почвенного института им.В.В. Докучаева РАН (Москва, Россия), rva39@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ESTIMATION OF INFORMATION CONTAINED IN SOIL ATTRIBUTES

© 2018 V.A. Rozhkov

Address: V.V. Dokuchaev Soil Institute, Pyzhevskiy pereulok 7, s.2, Moscow, 109017, Russia.

E-mail: rva39@mail.ru

In classification tasks the information contained in particular soil attributes denotes the relative contribution of each of the attributes into soils, horizons and samples discrimination. The bigger such contribution of a given attribute is, the more information the attribute contains. High variation of its values can mask the heterogeneity of the data set, which may potentially consist of several groups of objects. At the same time there are more complex multivariate estimates with the properties required for criteria, which use not only attribute variation, but also their interrelationship. These methods are principle components analysis, multivariate analysis of variance and cluster analysis. Formalization of concepts, definitions and classification techniques is the most pressing issue in soil science, as the mere listing of soils should be substituted by the approach based on informatics technologies and mathematics. Quantitative estimation of the information contained in soil attributes is the primary task in this direction.

Keywords: *information contained in soil attributes; the system of information in attributes; indicators and criteria of information; numerical soil classification; formalization of soil classification*

How to cite: *Rozhkov V.A. Estimation of information contained in soil attributes // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(3): 143 – 150. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Louk A. The formula of geniality, *Knowledge is power*, 1965, Iss. 3, p. 11. (in Russian)
2. Newest philosophical dictionary. Minsk: Interpressservice; Book House, 2001. 1280 p. (in Russian)
3. Rao S.R. Linear statistical methods and their application. Moscow: Nauka Pubs., 1968. 548 p. (in Russian)
4. Rozhkov V.A. Soil informatics. Moscow: Agropromizdat Pubs., 1989. 222 p. (in Russian)
5. Rozhkov V.A. Formal apparatus of soil classification, *Eurasian Soil Science*, 2011, Iss.12, p.1289 -1303. doi: [10.1134/S1064229311120106](https://doi.org/10.1134/S1064229311120106).

6. Rozhkov V.A., Proshina N.V. Test on numerical soil classification, *Pochvovedenie*, 1977, Iss. 8, p. 106-116. (in Russian)
7. Rozhkov V.A., Simakova M.S. Statistical investigation of sod-podzolic soil profiles developed on clay loams, *Pochvovedenie*, 1973, Iss. 12, p. 110-120. (in Russian)
8. Rozhkov V.A., Simakova M.S., Yushkevich S.H. Taxonomical analysis of soils by numerical classification methods, *Pochvovedenie*, 1988, Iss.5, p.7-14. (in Russian)
9. Sheremet B.V., Rozhkov V.A., Afanasieva T.V. The application of mathematical methods for classification and diagnostics of soils in the floodplain of the mid-Ob River, *Moscow University Soil Science Bulletin. Biological series*, 1981, Iss. 1, p. 11-20. (in Russian)
10. Sokal R.R., Rohlf F.I. The comparison of dendrograms by the objective methods, *TAXON*, 1962, Iss.11, p. 33-40. doi: [10.2307/1217208](https://doi.org/10.2307/1217208).

Received 27 September 2018

Accepted 08 December 2018

Published 09 December 2018

About the author:

Rozhkov Vyacheslav A. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Principal Researcher in the Dokuchaev Soil Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia); rva39@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

УДК 631.46+579.26
doi 10.31251/pos.v1i3.31

БИОРАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ АНСАМБЛЕЙ В БУРОЗЁМЕ ЭЛЮВИРОВАННОМ ПОД СОСНОЙ КОРЕЙСКОЙ

© 2018 Н. Б. Наумова¹, Т.Ю. Аликина², Г.В. Кузнецова³

Адрес:¹ ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, 8/2, г.Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: naumova@issa-siberia.ru

²ФГБУН Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, 8, г.Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: alikina@niboch.nsc.ru

³ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Академгородок, 50, стр. 28, Красноярск, 660036, Россия, E-mail: galva@ksn.krasn.ru

Цель исследования: Целью работы было изучение генетического разнообразия и структуры бактериальных ансамблей бурозема элювированного и выявление их взаимосвязи с почвенно-химическими и почвенно-микробиологическими свойствами.

Место и время проведения. Образцы валовой и ризосферной части бурозёма элювированного отобрали осенью 2014 года из слоя 0-20 см (сразу под подстилкой) с участков длительного полевого опыта с сосной корейской в Хабаровском крае.

Методология. Отбирали образцы валовой почвы, а также почвы ризосферы корней сосны путем осторожного встряхивания корней и сбора оставшейся на них почвы. В отобранных образцах почвы определяли химические (рН, содержание органического вещества, обменных форм питательных элементов) и микробиологические (содержание биомассы почвенных микроорганизмов, базальное и субстрат-индуцированное дыхание почвы) свойства, а также экстрагировали метагеномную ДНК. Эту ДНК использовали в качестве матрицы для амплификации гипервариабельных районов (V3-V4) генов 16S рРНК с помощью универсальных бактериальных праймеров; ампликоны секвенировали с помощью Illumina MiSeq. Полученные последовательности идентифицировали до индивидуальных операционных таксономических единиц (ОТЕ) на уровне сходства 97%. Далее матрицы данных с обилием ОТЕ анализировали с помощью методов анализа главных компонент, многомерного шкалирования и дисперсионного анализа. Также рассчитывали индексы α - и β -разнообразия.

Основные результаты. В бактериальных ансамблях бурозёма элювированного под сосной корейской в естественных для нее условиях было выявлено 400 ОТЕ, из которых 42 являлись доминантными, т.е. имели вклад $\geq 1\%$ в общее число последовательностей. Основными типами являлись Acidobacteria (34% общего числа последовательностей), Proteobacteria (25%) и Actinobacteria (9%). При этом видовое богатство бактериальных ансамблей было определено первым доминирующим типом, а выравненность – вторым доминирующим типом. Основными классами оказались Alphaproteobacteria (21%), группа 1 Acidobacteria (13%) и Ktedonobacteria (12%). Среди первых 5 доминантных ОТЕ две ОТЕ встречались во всех образцах, и это были ОТЕ, относящиеся к Rhizobiales, т.е. азотфиксирующим бактериям. Индексы α -разнообразия не отличались между образцами, а индекс β -разнообразия были больше для образцов с разных участков, чем для образцов валовой и ризосферной почвы.

Заключение. Впервые выявлен состав бактериальных ансамблей бурозёма элювированного под сосной корейской в искусственном моновидовом фитоценозе, но в естественных для этого вида условиях окружающей среды. Доминирование азотфиксирующих организмов в почве под сосной корейской свидетельствует об особой важности азотфиксации для роста и развития этого высокопродуктивного вида. Впервые выявленная положительная связь видового разнообразия ансамблей почвенных бактерий с содержанием микробального углерода в органическом веществе почвы важна для расширения диапазона значимости этого показателя как стандартного индикатора качества почвы.

Ключевые слова: сосна корейская; *Pinus koraeensis* Siebold et Zucc.; бурозём элювированный; Harpic Cambisol; 16S рДНК; метагеномные исследования; ризосфера

Цитирование: Наумова Н.Б., Аликина Т.Ю., Кузнецова Г.В. Биоразнообразие бактериальных ансамблей бурозёма элювированного под сосной корейской // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.151 – 169.

ВВЕДЕНИЕ

Леса являются высокопродуктивными экосистемами, занимающими большую часть территории России, которая составляет пятую часть лесов мира (FAO, 2003). Для понимания динамики лесных экосистем необходимо изучение состава и структуры микробных сообществ различных местообитаний в пределах экосистемы, или же так называемого лесного микробиома (Baldrian, 2017), т.е. совокупности геномов микроорганизмов всех компонентов экосистемы. Среди таковых почва является одним из основных, и населяющие ее микроорганизмы, т.е. организмы объемом не более 5000 мкм³ (Coleman, 1988), обеспечивают важные экосистемные процессы и сервисы (Stavi et al., 2016). Эти процессы зависят от состава и структуры, т.е. биоразнообразия, микробных сообществ почвы, и потому их изучение давно привлекает внимание исследователей.

Перепись микробного населения, проводимая современными метагеномными методами, является необходимым начальным этапом для интегрированных и хорошо сфокусированных системно-экологических исследований и обобщений (Baldrian, 2017). Почвы лесных экосистем нашей страны в плане каталогизации биоразнообразия микробных сообществ изучены недостаточно.

Одними из основных лесообразующих пород являются хвойные, в частности, сосны, имеющие огромное значение для экономики страны. Сосна корейская имеет обширный ареал распространения на востоке страны, в основном в Приморском и Хабаровском краях (Выводцев в соавт., 2012). Этот высокопродуктивный и декоративный вид уже давно пытаются интродуцировать в других регионах страны (Роров, 2010), в связи с чем изучают механизмы его адаптации к отличающимся от привычных почвенно-экологическим условиям произрастания (Кузнецова, 2010; Naumova et al., 2014).

Состав микробных сообществ лесных почв определяется видом доминантной лесообразующей породы (Urbanová et al., 2015), при этом корни деревьев являются основным интерфейсом взаимодействия наземной и подземной частей лесной экосистемы путем корневых выделений и корневого опада (Augusto et al., 2015), формируя специфичное для ризосферной почвы сообщество. В длительных полевых опытах с различными лесообразующими породами, заложенных по всей территории страны в 70-80-е годы прошлого века, сформированы зрелые монодоминантные искусственные фитоценозы, предоставляющие возможность изучить почвенные микроорганизмы при поступлении моновидового растительного материала, как в случае с сосной корейской.

Целью работы было изучение генетического разнообразия и структуры бактериальных сообществ бурозёма элювирированного и выявление их взаимосвязи с общей биомассой и активностью почвенных микроорганизмов и почвенно-химическими свойствами под сосной корейской в естественных для нее условиях в длительном полевом опыте в Хабаровском крае.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевой опыт с географическими культурами (климатипами) кедровых сосен был заложен в 1974 г в Хехцирском лесничестве (48°16' N, 135°02' E, 224 m a.s.l.) Хабаровского края на берозёме элювирированном (Классификация и диагностика почв России, 2004; Полевой определитель ..., 2008), или *Narlic Cambisol* (по международной классификации, WRB, 2014). Лесоводственные особенности опыта описаны ранее (Ирошников, 1977). Сеянцы сосны корейской были высажены из расчета 10 тыс. растений на 1 га с размещением рядов через 1,5 м и деревьев в ряду через 0,7 м. Делянки имеют размер около 30 м на 180 м. Перед закладкой опытов почву распахивали, т.е. почва опытных участков является антропогенно-трансформированной.

Таблица 1

Некоторые показатели роста и развития деревьев сосны корейской
(среднее ± стандартное отклонение)

Показатель	Делянка 1	Делянка 2
Высота, м	9,9 ± 1,4	9,7 ± 1,8
Диаметр ствола, см	13,2 ± 2,7	12,2 ± 2,2
Годовой прирост высоты, см	21,9 ± 2,9	21,7 ± 0,5
Диаметр кроны, м	3,3 ± 1,0	3,1 ± 0,1
Число побегов в мутовке, шт	9,7 ± 0,5	10,6 ± 0,6

Отбор образцов почвы проводили в конце сентября 2014 года из верхнего слоя толщиной 20 см (сразу под подстилкой, с максимальной густотой корней) на расстоянии 60 см от ряда, что получалось в пределах подкороновой зоны (Weber, Bardgett, 2011). Один смешанный образец почвы

составляли из шести индивидуальных почвенных монолитов, отобранных случайным образом по делянке. Ризосферную почву отбирали после осторожного встряхивания корней до 3 мм толщиной и сбора оставшейся на корнях почвы (Zhao et al., 2010).

Химические анализы. Содержание $C_{орг}$ и $C_{неорг}$ определяли путем оценки потери массы аликвоты почвенного образца при ступенчатом прокаливании (Wang et al., 2011): по потерям при прокаливании в течение 12 часов при 500 °С оценивали содержание $C_{орг}$, умножая на 0,58, а по потерям веса при последующем прокаливании в течение 12 часов при 800 °С оценивали содержание $C_{неорг}$. Суммированием $C_{орг}$ и $C_{неорг}$ получали $C_{общ}$.

Определение содержания общего азота в почве проводили по Кьельдалю; содержание подвижных форм питательных элементов (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , P_2O_5), водорастворимого углерода ($C_{вод}$) и pH (H_2O) измеряли стандартными методами (Soil Sampling..., 2008). Все анализы выполняли в трехкратной повторности.

Содержание азота и углерода микробной биомассы определяли методом фумигации-экстракции (Brooks et al., 1985; Vance et al., 1987). Влажную почву фумигировали очищенным от этанола хлороформом $CHCl_3$ в течение 24 ч. при 25°С. Навески контрольной и фумигированной почвы экстрагировали 0,5 М раствором K_2SO_4 в соотношении почва : экстрагирующий раствор 1:4, суспензии фильтровали через очищенные от аммиака фильтры. Полученные экстракты анализировали на содержание общего азота и углерода по Кьельдалю и бихроматным сжиганием, соответственно. Содержание углерода микробной биомассы ($C_{мик}$) рассчитывали как разницу концентрации $C_{орг}$ в экстрактах фумигированной и контрольной почвы, деленную на 0,35 (Vance et al., 1987), а содержание азота микробной биомассы ($N_{мик}$) рассчитывали как соответствующую разницу в концентрации $N_{общ}$, деленную на 0,54 (Brooks et al., 1985).

Базальное дыхание почвы (CO_2) определяли путем измерения выделения CO_2 почвой после стабилизации и без каких-либо добавок (Pell et al., 2006). Субстрат-индуцированное дыхание определяли путем измерения выделения CO_2 после добавления глюкозо-минеральной (СИДг) или гистидин-минеральной (СИДгис) смеси (800 мкг С на 1 г сухой почвы). По соотношению базального и субстрат-индуцированного дыхания рассчитывали дыхательный коэффициент (R_g и $R_{гис}$, соответственно) (Vlagodatskaya, Kuzyakov, 2013), а по соотношению базального дыхания и биомассы микроорганизмов оценивали метаболический коэффициент ($Q_{мет}$; Insam, Haselwandter, 1989).

Все значения рассчитаны на абсолютно-сухую почву и представлены в табл.2.

Таблица 2

Некоторые химические и микробиологические свойства бурозёма элювиюванного под сосной корейской (среднее \pm стандартное отклонение)

Свойство	Почва			
	Валовая	Ризосферная	Делянка № 1	Делянка № 2
pH	6,04 \pm 0,00	6,11 \pm 0,04	6,09 \pm 0,07	6,06 \pm 0,03
$C_{орг}^*$, %	7,5 \pm 3,4	10,4 \pm 1,0	10,5 \pm 0,9	7,3 \pm 3,2
$C_{неорг}$, %	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0	0,3 \pm 0,1
$N_{орг}$, %	0,42 \pm 0,07	0,49 \pm 0,14	0,53 \pm 0,09	0,38 \pm 0,02
$(C/N)_{орг}$	17,5 \pm 5,1	21,7 \pm 4,2	19,9 \pm 1,6	19,3 \pm 7,7
NO_3^- , мг N·кг ⁻¹ почвы	9,1 \pm 1,7	4,7 \pm 0,1	7,6 \pm 3,9	6,3 \pm 2,3
NH_4^+ , мг N·кг ⁻¹ почвы	1,1 \pm 0,6 a*	2,9 \pm 0,7 b	1,5 \pm 1,2	2,5 \pm 1,3
Подвижный P_2O_5 , мг·кг ⁻¹ почвы	0,3 \pm 0,0 a	0,7 \pm 0,1 b	0,5 \pm 0,2	0,5 \pm 0,3
$C_{мик}$, мкг С · г ⁻¹ почвы	1417 \pm 492 a	2537 \pm 506 b	2330 \pm 798 b	1624 \pm 784 a
$C_{мик}/C_{орг}$	1,9 \pm 0,2	2,3 \pm 0,2	2,1 \pm 0,5	2,1 \pm 0,2
$N_{мик}$, мкг N · г ⁻¹ почвы	95 \pm 37 a	274 \pm 11 b	202 \pm 113	168 \pm 140
$N_{мик}/N_{орг}$	2,2 \pm 0,5	5,8 \pm 1,5	3,7 \pm 1,5	4,3 \pm 3,4
$C_{мик}/N_{мик}$	17,5 \pm 0,7	10,7 \pm 1,7	14,4 \pm 3,5	13,9 \pm 6,1
CO_2 , мкл · час ⁻¹ · г ⁻¹ почвы	4,0 \pm 1,7	6,0 \pm 0,4	4,2 \pm 2,1	5,7 \pm 0,8
СИД _{глю} , мкл CO_2 · час ⁻¹ · г ⁻¹	15,1 \pm 0,1 b	14,1 \pm 0,0 a	14,6 \pm 0,7	14,5 \pm 0,7
СИД _{гис} , мкл CO_2 · час ⁻¹ · г ⁻¹	6,0 \pm 1,8	6,1 \pm 1,5	6,0 \pm 1,7	6,2 \pm 1,6
$R_{глю}$	0,26 \pm 0,11	0,43 \pm 0,03	0,29 \pm 0,16	0,40 \pm 0,07
$R_{гис}$	0,64 \pm 0,09	1,00 \pm 0,32	0,68 \pm 0,16	0,98 \pm 0,38
$Q_{мет}$, мкг С- CO_2 · мг $C_{мик}^{-1}$ · час ⁻¹	3,2 \pm 2,3	2,4 \pm 0,6	1,8 \pm 0,3	3,9 \pm 1,4

* Разные буквы в строках обозначают статистически значимое (на уровне $P \leq 0,05$) различие между образцами.

Экстракция ДНК из почвы. ДНК экстрагировали из почвы с помощью набора DNA Spin Kit for Soil™ (MO Bio Laboratories, Inc USA) в соответствии с инструкцией производителя. Для лучшего механического разрушения образца использовали TissueLyser II (Qiagen) в течение 45 с при 5000 об/мин. Дополнительной очистки извлеченной ДНК не требовалось; качество ее выделения оценивали с помощью электрофореза в 1%-ном агарозном геле.

Аmplификация и секвенирование генов 16S рРНК. Экстрагированную из почв метабеномную ДНК использовали в качестве матрицы для амплификации варибельного района (V3-V4) генов 16S рРНК с помощью праймеров 343F (5'-CTCCTACGGRRSGCAGCAG-3') и 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3') в сочетании с адаптерными последовательностями Illumina, а также баркодами на праймерах. Полимеразную цепную реакцию проводили в трех повторностях в объеме 50 мкл (Kirillova et al., 2016). Библиотеки секвенировали с помощью 600-cycle PE kit на секвенаторе MiSeq (Illumina, США) в ЦКП «Геномика» (ИХБФМ СО РАН, г.Новосибирск). Полученные последовательности амплифицированных фрагментов генов 16S рРНК размещены в открытом доступе на сайте <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra/SRP152492>.

Биоинформатический анализ

Полученные парные последовательности анализировали с помощью UPARSE скриптов (Edgar, 2013), используя Usearch v.10.0.240 (Edgar, 2010). Биоинформатическая обработка включала перекрывание парных ридов, фильтрацию по качеству и длине, учет одинаковых последовательностей, отбрасывание синглетонов, удаление химер и объединение в операционные таксономические единицы (ОТЕ, в метабеномных исследованиях применяется в качестве синонима понятию вида) проводили на основе 97%-ного порога сходства ОТЕ с помощью алгоритма кластеризации UNOISE (Edgar, 2016a). Таксономическую принадлежность последовательностей ОТЕ определяли с помощью SINTAX (Edgar, 2016b).

Таксономическую структуру совокупности полученных таким образом последовательностей бактериального ансамбля оценивали по отношению числа последовательностей каждого таксона к общему числу последовательностей, выраженному в процентах. Термин «ансамбль» (английский эквивалент *assemblage*), в соответствии с предложением Фота и др. (Fauth et al., 1996), использован как обозначающий филогенетически родственные группы в пределах сообщества, т.е. совокупности разных видов, встречающихся в одном месте в одно время. Заметим, что этот термин все чаще используется в работах по метабеномике почв (Nesme J. et al., 2016).

Статистическую обработку данных проводили методами описательной статистики, анализа главных компонент, метрического многомерного шкалирования с помощью пакета Statistica v.13.3. Кривые рарефикации строили и индексы биоразнообразия рассчитывали с помощью статистического пакета PAST 3.19 (Hammer et al., 2001).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Таксономическое разнообразие бактериальных ансамблей. После секвенирования гена 16S рРНК, фильтрации полученных последовательностей и удаления химер совокупность нуклеотидных последовательностей анализировали путем построения кривых рарефикации (рис.1). Число ОТЕ выходит на плато при увеличении числа последовательностей, поэтому сравнивать разнообразие бактериальных ансамблей образцов вполне корректно (Hughes, Hellmann, 2005).

Из общего числа ОТЕ, выявленных в наших образцах, всего две ОТЕ принадлежали представителям *Archaea* (неидентифицированные до более низкого уровня *Thaumarchaeota*, представленные всего несколькими последовательностями). Это согласуется с данными других авторов о том, что в кислых лесных почвах с относительно высоким содержанием аммония, достаточным для функционирования аммоний-окисляющих бактерий, аммоний-окисляющие археи (к каковым относятся многие *Thaumarchaeota*) значительно менее обильны и активны (Žifčáková et al., 2016).

Имеющиеся опубликованные данные о биоразнообразии ансамблей почвенных бактерий под сосной корейской немногочисленны. Так, в смешанных лесах из сосны корейской и широколиственных пород (Wang et al., 2014) число типов бактерий, близко к числу, выявленному в изученных нами образцах (табл.3). Последнее в точности совпадает с числом типов бактерий, выявленных в среднем в почве одной лесной экосистемы в Юго-Восточной Азии (16,4; Ito et al., 2017), однако число ОТЕ в наших образцах было значительно меньше по сравнению с 1414 ОТЕ, выявленных в среднем на образец в цитируемой выше работе и некоторых других (Wei et al., 2017). Это, вероятнее всего, связано с большим разнообразием растительного сообщества (и, как

следствие, количества и качества поступающего в почву растительного вещества) субтропических и тропических лесов по сравнению с моновидовыми искусственными лесными фитоценозами нашего исследования. По-видимому, и меньшая доля синглтонов в образцах бурозёма элювиированного также связана с меньшим химическим разнообразием фитомассы.

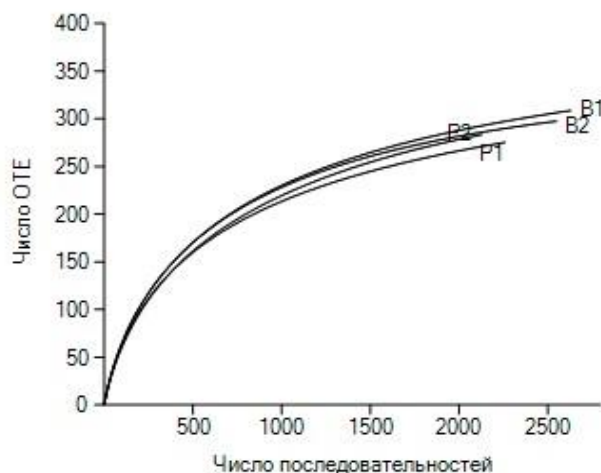


Рисунок 1. Зависимость числа ОТЕ от общего числа последовательностей фрагментов 16S рДНК, амплифицированных по матрице метагеномной ДНК, экстрагированной из бурозёма элювиированного под сосной корейской. Обозначения: 1, 2 – делянки, В – валовая и Р – ризосферная почва.

Таблица 3

Таксономический состав ОТЕ, выделенных из образцов бурозёма элювиированного под сосной корейской

Таксон	Все ОТЕ	Доминантные ОТЕ
Надцарство (<i>Bacteria, Archaea</i>)	2	1
Тип	16	7
Класс	36	11
Порядок	44	16
Семейство	47	19
Род	45	20
ОТЕ	400	42

Более трети всех последовательностей бактериальных ансамблей в изученных образцах бурозёма элювиированного приходилось на долю представителей типа *Acidobacteria*; представители типа *Proteobacteria* составляли четверть; далее по уровню относительного обилия шли типы *Chloroflexi* и *Actinobacteria* (рис.2, А). Такая таксономическая структура согласуется со структурой совокупности нуклеотидных последовательностей в изученных нами образцах почвы другого типа (серой лесной, *Phaeozem*) под сосной корейской (Naumova et al., 2015), а также в почвах других типов под другими видами сосны (Du et al., 2015; Kaiser et al., 2016; Zhou et al., 2017) или под другими лесообразующими породами, как смешанными с сосной корейской (Wang et al., 2014), так и нет (de Araujo et al., 2017; Lladó et al., 2017). Так, в подзолистой почве хвойного леса в Альпах почве *Acidobacteria* составляли до 40% (Siles, Margesin, 2017), а под дубовым лесом умеренного пояса доминирование *Acidobacteria* было еще выше (40-50%; López-Mondéjar et al., 2015), так же, как и в почве под буковым и еловым лесами (Nacke et al., 2016). В почвах тропических лесов Юго-Восточной Азии и под лесом умеренного пояса в Японии доля *Acidobacteria* составляла 32,3% (Miyashita et al., 2013), т.е. практически совпадала с таковой в наших образцах (34%). Выявленное нами значительное относительное обилие *Proteobacteria* также совпадает с их обилием в почвах тропических лесов (23%, Ito et al., 2017). Таким образом, сильное доминирование *Acidobacteria* еще раз подтверждает представление о том, что *Acidobacteria* является самым широко распространенным и обильным на планете типом бактерий (Kielak et al.,

2016), а совместное доминирование *Acidobacteria* и *Proteobacteria* позволяет с большой долей уверенности предположить наличие экологических связей между ними.

Заметим, что довольно большая доля бактериальных последовательностей (10%, т.е. превышающая вклад каждого из типов *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia* и *Bacteroidetes*), не была идентифицирована даже до типового уровня. Аналогичная картина, как правило, наблюдается и в других исследованиях. Это связано как с принципиальной невозможностью охватить все разнообразие прокариот на планете, так и с техническими аспектами пополнения базы данных, в данном случае RDP.

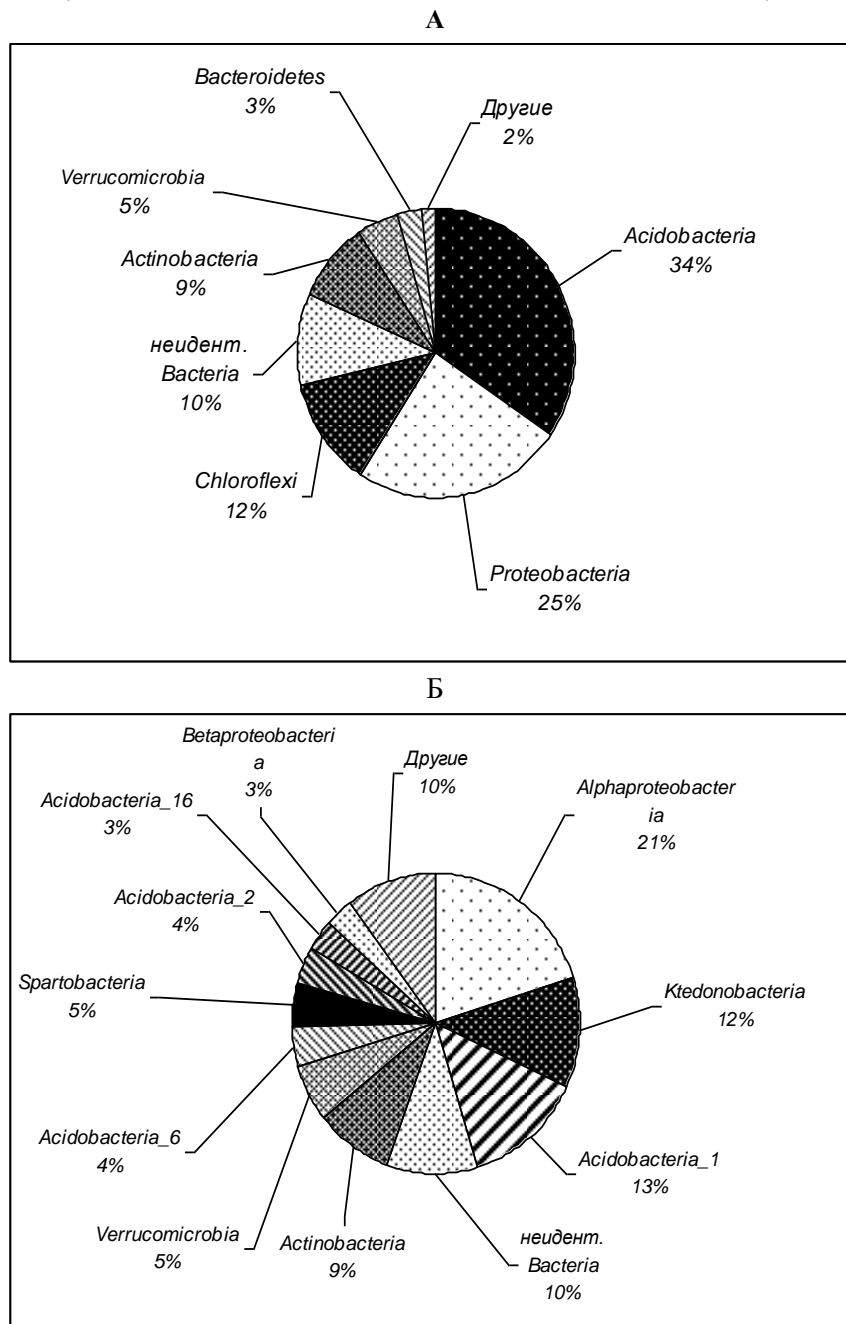


Рисунок 2. Таксономическая структура бактериальных ансамблей в образцах бурозёма элювиированного под сосной корейской (оцененная по вкладу таксон-специфичных 16S рДНК последовательностей в общее число последовательностей): А – на уровне типа, Б – на уровне класса. Обозначения: Неидент. *Bacteria* - последовательности, относящиеся к царству *Bacteria*, но не идентифицированные даже до уровня типа.

Сравнение относительного обилия класс-специфичных последовательностей показало, что среди *Acidobacteria* сильно лидировали представители группы 1 и 6, совместно составляя 50% от обилия представителей этого типа (рис.2, Б). Это несколько отличается от распределения *Acidobacteria* по классам в бактериальных ансамблях почв тропических лесов, где на втором месте были

представители группы 2 (Miyashita, 2015). Все известные культивируемые представители *Acidobacteria* являются гетеротрофами, при этом представители группы 1, являющейся наиболее изученной в физиологическом плане, как полагают, могут использовать разнообразные углеродные субстраты (Keilak et al., 2016). Есть данные о том, что представители группы 1 могут использовать в качестве углеродного субстрата ксилан (Pankratov et al., 2008; Eichorst et al., 2011), т.е. участвовать в разложении стенок растительных клеток. Что касается группы 6, то про физиологические и экологические особенности ее представителей информации практически нет (Kielak et al., 2010; Siles, Margesin, 2017), хотя группа 6 доминировала среди *Acidobacteria* в почве смешанного альпийского леса (Siles, Margesin, 2017). Поскольку классы *Acidobacteria*, как полагают, могут быть специфичными для почв разных экосистем (Catao et al., 2014), можно предположить наличие определенных связей между некоторыми представителями группы 6 и сосной корейской, однако более детальные экологические предположения выдвинуть трудно в связи с недостатком информации.

Подавляющее число *Proteobacteria* было представлено классом *Alphaproteobacteria* (рис.2,Б), что также совпадает с данными других авторов для лесных экосистем (Miyashita, 2015). Весь тип *Chloroflexi* был представлен одним классом *Ktedonobacteria*.

Число доминантных ОТЕ, т.е. тех, которые вносят $\geq 1\%$ в общее число последовательностей, в среднем составило 26 ± 2 ОТЕ на образец. При этом вся совокупность доминантов насчитывала 42 ОТЕ, из которых только 2 были идентифицированы до вида (*Ktedonobacter racemifer* и *Acidocella aluminidurans*). Первые пять доминантов составляли 19-26% от общего числа последовательностей в ансамблях, при этом две ОТЕ, относящиеся к порядку *Rhizobiales* (класс *Alphaproteobacteria* типа *Proteobacteria*), т.е. азотфиксирующим бактериям, с 4-5% от общего числа последовательностей, во всех образцах были среди первых трех доминантов (рис.3). Сходная ситуация, т.е. доминирование несимбиотических азотфиксаторов, была выявлена в почвах хвойных экосистем всех климатических зон Северной Америки (VanInsberghe et al., 2015). Среди наших доминантов также были ОТЕ, представляющие порядок *Ktedonobacteriales* (класс *Ktedonobacteria* типа *Chloroflexi*), однако в почвенных образцах разных делянок это были разные ОТЕ. Расположение образцов почвы в плоскости первых двух главных координат, полученных в результате метрического многомерного шкалирования матрицы данных с относительным обилием всех ОТЕ для каждого образца, представлено на рис.3: все 4 образца расположены в разных квадрантах, при этом дисперсия между делянками, т.е. по первой главной компоненте, в два раза превышает дисперсию между валовой и ризосферной почвой (т.е. по второй главной компоненте). Можно предположить, что хотя бы частично такое положение обусловлено большим варьированием почвенных микроагрегатов (почвенных частиц размером < 250 мкм) при отборе навесок (250 мг) валовой почвы на экстракцию ДНК (Angst et al., 2016), что может приводить к большему варьированию между образцами, так как большее биоразнообразие наблюдается именно в микроагрегатах (Vach et al., 2018).

Индексы биоразнообразия бактериальных ансамблей. Сравнительный анализ различных показателей оценки разнообразия ансамблей последовательностей фрагментов генов 16S рДНК в почвенных образцах не выявил отличий ни между делянками, ни между валовой и ризосферной почвой (табл.4). Это не удивительно, если учесть, что основным растительным материалом, поступающим в почву с момента начала опыта является фитомасса сосны, и валовая почва включает в себя и ризосферную. В целом по всем показателям биоразнообразия создается впечатление о тенденции к несколько большему доминированию, и, соответственно, меньшей выравненности и разнообразию в образцах ризосферной почвы, хотя под влиянием специфических корневых выделений и корневого опада можно было бы ожидать большей выраженности доминирования, поскольку внесение в почву даже такого универсального субстрата, как глюкоза, меняет структуру бактериального сообщества (Falcini et al., 2003). Индексы разнообразия бактериальных ансамблей, рассчитанные по нашим данным, в ряде случаев близки к имеющимся в литературе для бактериальных ансамблей почв лесных экосистем (Fierer, Jackson, 2006; Siles, Margesin, 2017), а в некоторых случаях существенно ниже (Wei et al., 2017). Отметим, что расчет такого рода индексов в настоящее время претерпевает ренессанс не только как способ компактного выражения информации о микробных ансамблях и обусловленного им удобства этих индексов при сравнении больших массивов метагеномных данных, но и для включения в различного рода экологические модели, в частности, динамики органического вещества почвы (Louis et al., 2016), так как почвенные микроорганизмы являются основными агентами его трансформации.

Таблица 4

Индексы α -биоразнообразия (среднее \pm стандартное отклонение) бактериальных ансамблей в образцах бурозёма элювиированного под сосной корейской

Индекс	Почва		Делянка	
	Валовая	Ризосферная	№ 1	№ 2
Число ОТЕ	304 \pm 8	280 \pm 6	293 \pm 23	291 \pm 10
Доминирование	0,01 \pm 0,00	0,02 \pm 0,01	0,01 \pm 0,00	0,02 \pm 0,01
Симпсона	0,99 \pm 0,00	0,98 \pm 0,01	0,99 \pm 0,00	0,98 \pm 0,01
Шеннона	4,9 \pm 0,0	4,7 \pm 0,1	4,9 \pm 0,1	4,8 \pm 0,1
Выравненность	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0	0,4 \pm 0,0
Бриллуэна	4,7 \pm 0,0	4,5 \pm 0,1	4,7 \pm 0,1	4,6 \pm 0,2
Менхиника	5,9 \pm 0,1	6,0 \pm 0,3	5,9 \pm 0,2	6,0 \pm 0,2
Маргалефа	38 \pm 1	36 \pm 1	37 \pm 2	37 \pm 1
Равномерность	0,86 \pm 0,00	0,84 \pm 0,02	0,86 \pm 0,00	0,84 \pm 0,02
Фишера	89 \pm 2	85 \pm 4	86 \pm 6	88 \pm 0
Бергера-Паркера	0,06 \pm 0,02	0,08 \pm 0,05	0,05 \pm 0,00	0,09 \pm 0,03
Као-1	350 \pm 20	340 \pm 4	350 \pm 19	339 \pm 5

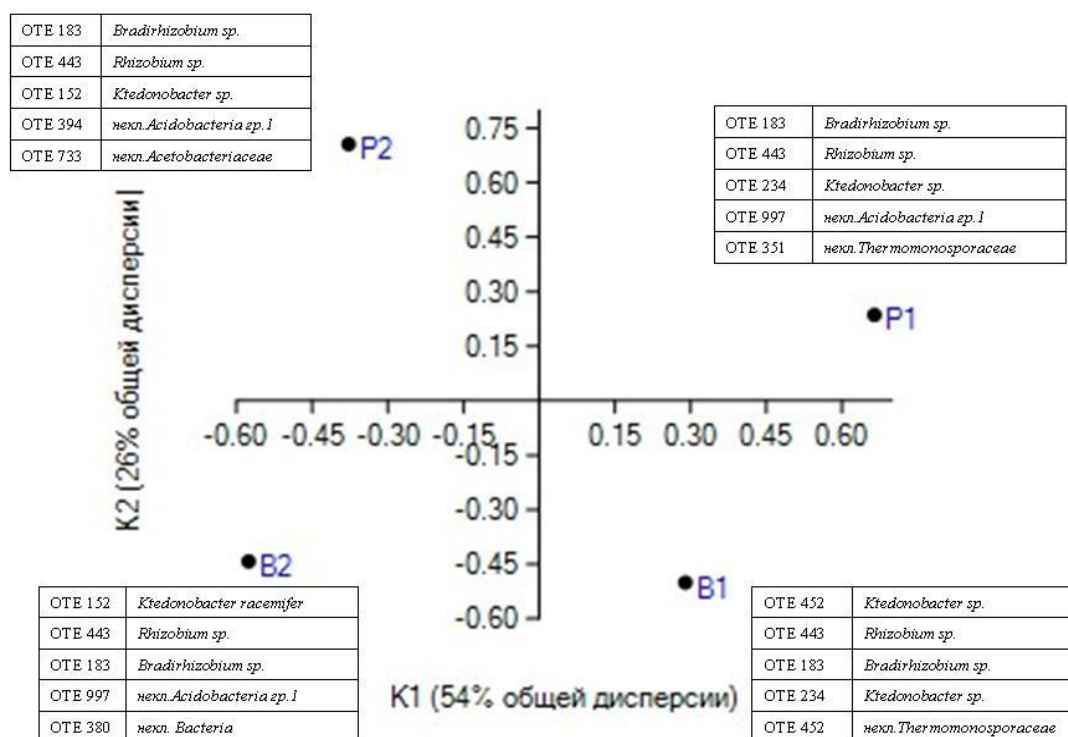


Рисунок 3. Расположение образцов почвы в плоскости первых двух главных координат, полученных при метрическом многомерном шкалировании матрицы данных по относительному обилию каждой выявленной ОТЕ в ансамблях валовой (В) и ризосферной (Р) бурозёма элювиированного двух делянок длительного полевого опыта с сосной корейской. В таблицах приведены первые пять доминантных ОТЕ в каждом образце.

Взаимосвязь индексов биоразнообразия, рассчитанных по числу последовательностей каждой ОТЕ, с относительным обилием основных типов бактерий представлена расположением этих показателей в плоскости первых двух главных компонент, совместно отвечающих за практически всю дисперсию совокупности этих 12 индексов (рис.4, А). Ожидаемо, что индексы сгруппировались по преимущественному отражению 1) доминирования, 2) равномерности и 3) «видового» богатства (число ОТЕ, Као-1, Маргалефа), при этом ГК1 была связана с балансом между выравненностью и доминированием, а ГК2 была в основном определена индексами, в большей степени зависящими от общего числа ОТЕ, т.е. «видового» богатства. С последними

индексами было в значительной степени связано представительство типов *Acidobacteria* и *Verucomicrobia*; *Proteobacteria* определяли в основном показатели, связанные с выровненностью и равномерностью распределения последовательностей по разным ОТЕ, а индексы доминирования находились в одной полуплоскости с *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, другими (минорными) типами и неклассифицированными бактериями. Если провести такой же анализ, но использовать в качестве вспомогательных переменных классы, то в структуре взаимосвязей доминантные классы четче распределяются по индексам (рис.4, Б). Так, связь *Alphaproteobacteria* с индексами Шеннона и Бриллюна свидетельствует о вкладе ОТЕ этого класса в общее видовое богатство и структуру, а *Betaproteobacteria*, скорее всего, в значительной степени определяют равномерность структуры изученных ансамблей. Близость расположения индексов доминирования и групп 2, 3 *Acidobacteria*, а также *Actinobacteria*, может отражать их реакцию на наличие в образце определенных углеродных субстратов, которые они способны утилизировать, т.е. расти и развиваться, что приводит к повышению их относительного обилия в совокупности последовательностей, т.е. к изменению структуры доминирования. Связь группы 6 типа *Acidobacteria* с индексом Менхиника, а *Spartobacteria* с индексами, отражающими общее видовое богатство, может свидетельствовать о том, что изменении числа их ОТЕ и обилия последовательностей в ансамблях разных почвенных образцов вносит основной вклад в дисперсию соответствующих индексов α -разнообразия.

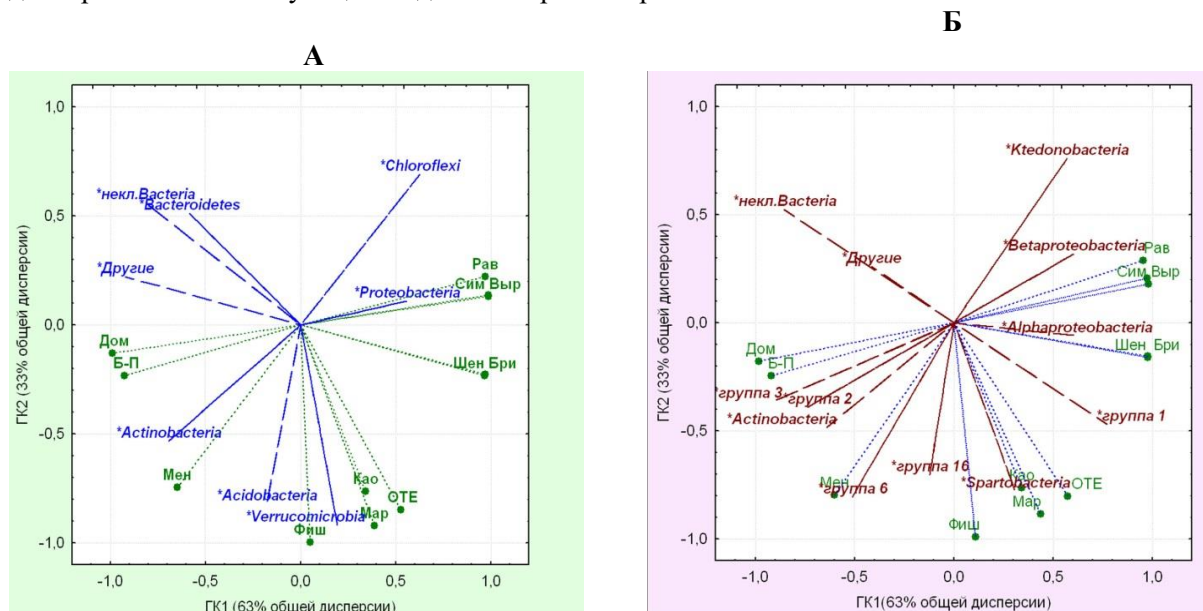


Рисунок 4. Расположение индексов биоразнообразия бактериальных ансамблей (переменные анализа) и относительного обилия тип- (А) и класс (Б)-специфичных последовательностей (вспомогательные переменные) в плоскости первых двух главных компонент. Индексы: Дом – доминирования, Б-П – Бергер-Паркера, Рав – равномерность, Сим – Симпсона (1- Дом), Выр – выровненность, Шен – Шеннона, Бри – Бриллюна, ОТЕ – число операционных таксономических единиц, Као – Као-1, Мар – Маргалефа, Фиш – α -Фишера, Мен – Менхиника. Группы 1, 2, 3, 6, 16 – классы типа *Acidobacteria*.

Что касается β -разнообразия, то индекс Харрисона, рассчитанный по ОТЕ, составлял 0,18 при сравнении ансамблей последовательностей валовой почвы с разных делянок, и 0,15-0,16 при сравнении валовой и ризосферной почвы в пределах одной делянки, что согласуется с приведенной выше структурой межгрупповой дисперсии по результатам многомерного шкалирования. Повторим, что такое соотношение β -биоразнообразия разных ансамблей в данном случае не удивительно, учитывая, что ризосферная почва является частью валовой почвы, а экспериментальный фитоценоз является моновидовым, т.е. подавляющее количество растительного материала поступает в почву от сосны корейской.

Таксономическое разнообразие бактериальных ансамблей (на уровне типа и класса) и свойства почвы. Чтобы выявить взаимосвязь бактериальных таксонов с основными почвенными свойствами, мы провели анализ данных по относительному обилию таксон-специфичных

последовательностей методом главных компонент (рис.5): относительное обилие таксон-специфичных последовательностей использовали как основные переменные анализа, а величины биомассы и активности микроорганизмов и почвенно-химические свойства – как вспомогательные.

На уровне типов с содержанием органического вещества почвы было положительно связано относительное обилие представителей *Proteobacteria*, *Chloroflexi* и *Bacteroidetes*, в то время как относительное обилие *Actinobacteria*, *Acidobacteria* и *Veruccomicrobia* находилось в противоположной зависимости (рис.5, А). Это согласуется с данными других авторов, в частности, о том, что *Acidobacteria* более обильны в местообитаниях с низкой доступностью углеродных субстратов (Fierer et al., 2007). При этом эти типы по второй главной компоненте лежат в полуплоскости, противоположной той, где лежат такие показатели, как выделение CO_2 из почвы, содержание аммонийного азота, водорастворимого углерода и подвижного фосфора, респираторным коэффициентами и вкладом микробиальной массы в органическое вещество почвы, т.е. показателями, характеризующими подвижные формы элементов и баланс их минерализации из органического вещества почвы и иммобилизации микробиальной массой. С этими показателями ближе всего расположено обилие неклассифицированных представителей *Bacteria*: создается впечатление, что в нее входят минорные и редкие представители, которые могут быстро реагировать на изменение обстановки в плане доступности субстратов.

Как мы и ожидали, биомасса почвенных микроорганизмов оказалась значительно выше в почве ризосферы по сравнению с валовой почвой: так, содержание $\text{C}_{\text{мик}}$ и $\text{N}_{\text{мик}}$ в ризосфере было в 1,8 и 2,9 раза выше, соответственно (табл.2), отражая повышенное поступление легкоутилизируемых углеродных субстратов, какими являются корневые выделения. В целом по образцам биомасса микроорганизмов тесно коррелировала с относительным обилием представителей типа *Bacteroidetes* (рис. 5, А). По-видимому, представители этого типа формируют существенную часть биомассы микроорганизмов почвы, что косвенно подтверждается имеющимися данными об уменьшении их обилия при уменьшении биомассы, как, например, при переходе от целинных к пахотным почвам (Wolińska et al., 2017). Биомасса почвенных микроорганизмов представляет собой основной фонд подвижных питательных элементов в почве (Jenkinson, Ladd, 1981), содержание и стехиометрия которых являются важными показателями плодородия экосистемы (Li et al., 2016). Относительно большая концентрация азота микробиальной массой в ризосферной почве (табл.2) отражает ее более активное участие в обеспечении сосен азотом, что согласуется с существенно (в 2,6 раза) большим вкладом микробиального азота в азот органического вещества почвы и структурой бактериальных ансамблей с несколько повышенным обилием представителей *Rhizobiales* (среднее и стандартное отклонение $11,5 \pm 1,0\%$ и $11,1 \pm 1,0\%$ в ризосферной и валовой почве, соответственно). Заметим, что азотфиксирующая активность в ризосфере может быть повышена гораздо более значительно, чем число фрагментов генов 16S рРНК.

Что касается выделения CO_2 почвой, то без добавления углеродного субстрата этот показатель не различался между валовой и ризосферной почвой, а с добавлением глюкозы повышался сильнее в валовой почве (табл.2). Однако респираторные коэффициенты с обоими субстратами и метаболический коэффициенты статистически значимо не различались между валовой и ризосферной почвой, как и между делянками (табл.2). Респираторный коэффициент с гистидином был выше, чем с глюкозой. Это говорит о том, что часть почвенного микробного комплекса, способная утилизировать гистидин, т.е. более сложный и менее универсальный субстрат по сравнению с глюкозой, более инерционна и медленнее поддается индукции субстратом.

Метаболический коэффициент биомассы микробного сообщества (т.е. соотношение выделения CO_2 почвой и углерода биомассы) коррелировал с обилием *Actinobacteria*, являющимися, как отмечено выше, деструкторами органического материала.

Примечательно, что в пределах очень узкого варьирования рН в образцах (табл.2), выявились типы, положительно (*Bacteroidetes*) и отрицательно (*Acidobacteria*, *Veruccomicrobia* и *Armatimonadetes*) связанные с этим показателем (рис.5,А).

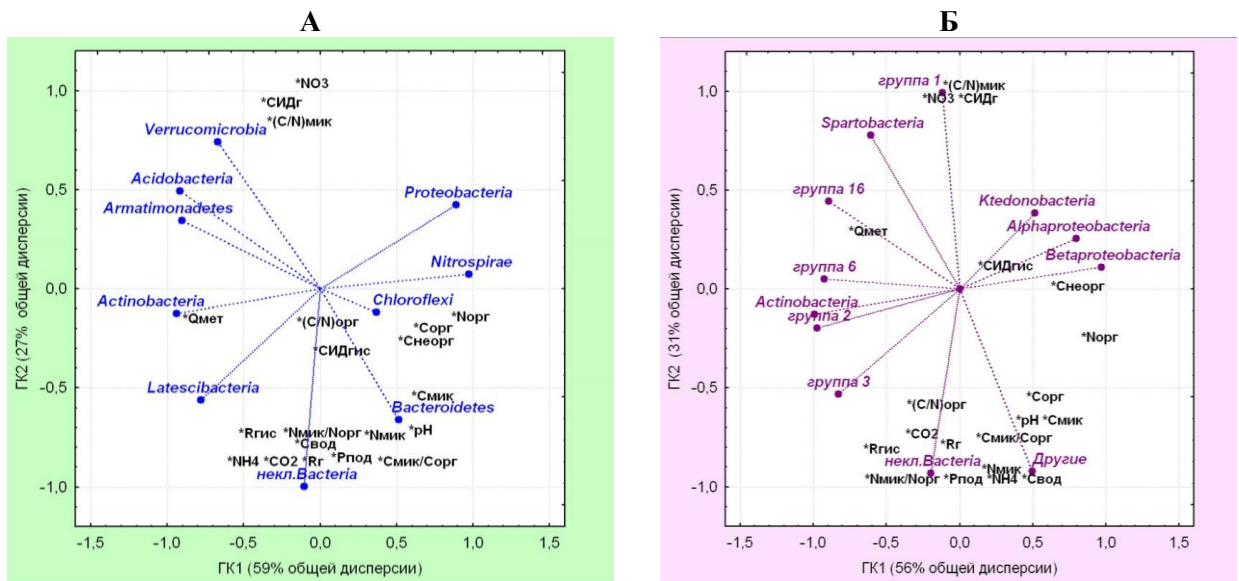


Рисунок 5. Расположение типов (А) и классов (Б) бактерий в пространстве первых двух главных компонент: переменные анализа – относительное обилие таксонов, вспомогательные переменные – почвенные свойства (*). Некл.*Bacteria* – бактерии, неидентифицированные до уровня типа. Почвенные свойства: $S_{мик}$, $N_{мик}$ – содержание углерода и азота биомассы микроорганизмов в почве; $S_{орг}$, $N_{орг}$ – содержание углерода и азота органического вещества почвы; $S_{вод}$ – содержание водорастворимого углерода; CO_2 – базальное дыхание почвы; СИДг, СИДгис – субстрат-индуцированное дыхание почвы (глюкозой и гистицином, соответственно); R_g , $R_{гис}$ – респираторные коэффициенты с глюкозой и гистицином, соответственно; NH_4 , NO_3 – содержание обменных форм, $R_{под}$ – содержание подвижной формы. Группы 1, 2, 3, 6, 16 – классы типа *Acidobacteria*.

На уровне классов обилие представителей группы 3 *Acidobacteria* было тесно связано с минерализацией почвенного раствора, представителей группы 16 – с метаболическим коэффициентом биомассы, а представителей группы 1 – с соотношением C/N биомассы, содержанием нитратного азота и индуцированным глюкозой выделением CO_2 . Нитратный азот может использоваться некоторыми бактериями этого класса *Acidobacteria* в качестве источника азота (Männistö et al., 2012). Есть данные о том, что представители группы 1 могут использовать в качестве углеродного субстрата ксилан (Pankratov et al., 2008; Eichorst et al., 2011, 2018), т.е. участвовать в разложении стенок растительных клеток. Положительная связь между обилием группы 1 *Acidobacteria* и СИДг наряду с отрицательной связью с соответствующим респираторным коэффициентом (рис.5) свидетельствует о том, что многие представители этой группы находятся в почве в активном состоянии, утилизируя низкомолекулярные углеродные субстраты. Примечательно, что дыхание, индуцированное гистицином, т.е. гетероциклической аминокислотой, лежит в одном направлении с *Alphaproteobacteria*, представители которых являются азотфиксаторами и основными доминантами в изученных образцах бурозема элювиированного.

Обилие последовательностей, представляющих *Betaproteobacteria* и *Alphaproteobacteria*, было связано с содержанием азота органического вещества в почве (рис.5, Б). Поскольку среди них много азотфиксаторов, то этим таксонам следует уделить более пристальное внимание при изучении процессов и компонентов трансформации азотных соединений в почве под сосной корейской при ее интродукции в другие условия в частности и в почве лесных экосистем в целом.

Взаимосвязь индексов биоразнообразия с почвенными свойствами представлена на рис.6. Так, индексы равномерности положительно связаны с соотношением C/N в органическом веществе почвы: по-видимому, трудно разлагаемые соединения требуют участия более разнообразной совокупности бактерий с более широким спектром биохимических возможностей. Неожиданной - с учетом очень незначительного варьирования между образцами - представляется положительная связь pH с богатством ОТЕ бактериальных ансамблей, что подтверждает важность pH в формировании почвенного биоразнообразия даже в пределах очень узкого градиента этого показателя. Заслуживает внимания впервые выявленная положительная корреляция вклада

углерода биомассы микроорганизмов в органический углерод почвы с индексами, отражающими богатство ОТЕ (рис.5): это дополняет значимость и подтверждает корректность использования соотношения $C_{\text{мик}}/C_{\text{орг}}$ как показателя качества почвы (Bünemann et al., 2018). Наиболее широко используемый индекс Шеннона, отражающий как видовое богатство, так и структуру сообщества, тесно коррелирует с вкладом азота биомассы микроорганизмов в органический азот почвы (рис.6). Это подчеркивает, с одной стороны, первостепенную важность азотного цикла для функционирования лесных экосистем, и, с другой стороны, потенциал включения этого индекса Шеннона (или Бриллюна) в модели азотного цикла в этих экосистемах.

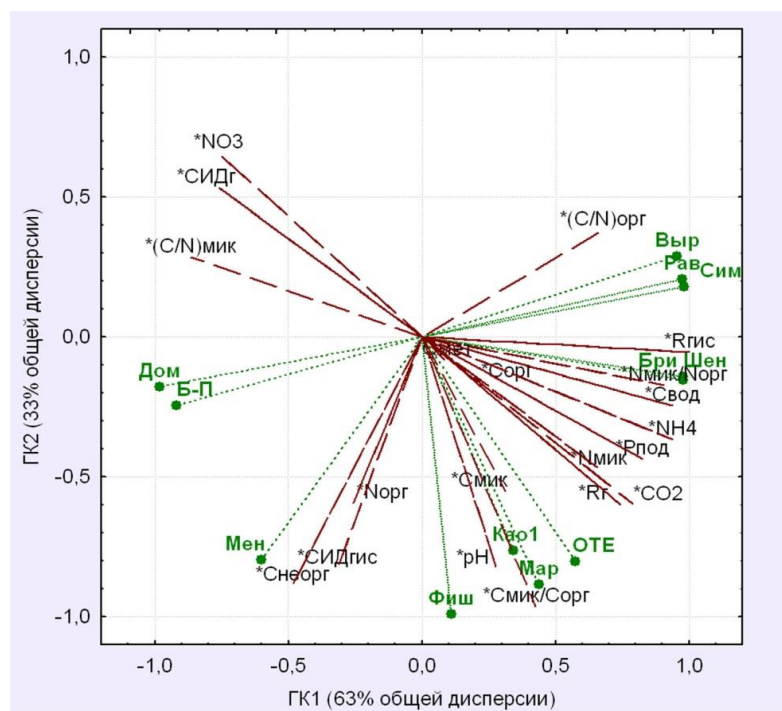


Рисунок 6. Расположение индексов биоразнообразия бактериальных ансамблей (переменные анализа) и почвенных свойств (вспомогательные переменные) в плоскости первых двух главных компонент. Индексы: Дом – доминирования, Б-П – Бергер-Паркера, Рав – равномерность, Сим – Симпсона (1- Дом), Выр – выравненность, Шен – Шеннона, Бри – Бриллюна, ОТЕ – число операционных таксономических единиц, Као – Као-1, Мар – Маргалефа, Фиш – α -Фишера, Мен – Менхиника. Почвенные свойства: $C_{\text{мик}}$, $N_{\text{мик}}$ – содержание углерода и азота биомассы микроорганизмов в почве; $C_{\text{орг}}$, $N_{\text{орг}}$ – содержание углерода и азота органического вещества почвы; $C_{\text{вод}}$ – содержание водорастворимого углерода; CO_2 – базальное дыхание почвы; СИДг, СИДгис – субстрат-индуцированное дыхание почвы (глюкозой и гистидином, соответственно); Rг, Rгис – респираторные коэффициенты с глюкозой и гистидином, соответственно; NH_4 , NO_3 – содержание обменных форм, Rпод – содержание подвижной формы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях моновидового фитоценоза с сосной корейской основными доминантами бактериальных ансамблей валовой и ризосферной части бурозёма элювиированного на уровне типа являются *Acidobacteria* и *Proteobacteria*. На уровне родов в число основных доминантов входят *Rhizobium sp.* и *Bradirhizobium sp.*, что свидетельствует об особой важности азотфиксации для роста и развития этого высокопродуктивного вида сосны. Впервые выявленная положительная связь видового разнообразия ансамблей почвенных бактерий с содержанием микробиального углерода в органическом веществе почвы важна для расширения диапазона значимости этого показателя как стандартного показателя качества почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выводцев Н.В., Сомов Е.В., Тютрин С.А., Кобояси Р. Биоэкологические и морфометрические характеристики кедровых лесов Хабаровского края // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2012. Т.2. №40. С. 27-34.
2. Ирошников А. И. Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. *Новосибирск, 1977. С. 104-110.*
3. *Классификация и диагностика почв России* / Составители: Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
4. Кузнецова Г. В. Рост, состояние и развитие кедровых сосен в географических культурах на юге Красноярского края // *Хвойные бореальной зоны*. 2010. Т. XXVII. № 1-2. С. 102-107.
5. [Наумова Н.Б., Макарикова Р.П., Кузнецова Г. В. Биомасса и активность почвенных микроорганизмов под разными видами и климатипами кедровых сосен // *Агрэкоинфо*. 2014. № 3. № статьи 4.](#)
6. *Полевой определитель почв*. Москва: Почвенный институт им.В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
7. Попов А.Г. Первичная интродукция некоторых видов 5-хвойных сосен на юг лесной зоны Западной Сибири // *Хвойные бореальной зоны*. 2010. Т. XXVII. № 1-2. С. 169 -174.
8. Angst G., Kögel-Knabner I., Kirfel K., Hertel D., Mueller C.W. Spatial distribution and chemical composition of soil organic matter fractions in rhizosphere and non-rhizosphere soil under European beech (*Fagus sylvatica* L.) // *Geoderma*. 2016. V. 264. Part A, P.179-187. doi:[10.1016/j.geoderma.2015.10.016](#).
9. de Araujo A.S., Bezerra W.M., Dos Santos V.M., Rocha S.M., Carvalho N.D., de Lyra M.D., Figueiredo M.D., de Almeida Lopes A.C., Melo V.M. Distinct bacterial communities across a gradient of vegetation from a preserved Brazilian Cerrado // *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2017. V. 110. Iss.4. P.457-469. doi: [10.1007/S10482-016-0815-1](#).
10. Augusto L., De Schrijver A., Vesterdal L., Smolander A., Prescott C., Ranger J. Influences of evergreen gymnosperm and deciduous angiosperm tree species on the functioning of temperate and boreal forests // *Biological Reviews* 2015.V. 90. Iss.2. P.444–466. doi: [10.1111/brv.12119](#)
11. Bach E.M., Williams R.J., Hargreaves S.K., Yang F., Hofmockel K.S. Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats // *Soil Biol Biochem*. 2018. V.118. P. 217-226. doi:[10.1016/j.soilbio.2017.12.018](#).
12. Baldrian P. Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics // *FEMS Microbiology Rev*. 2017. V. 41. Iss.2. P.109–130. doi: [10.1093/femsre/fuw040](#).
13. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches // *Soil Biol. Biochem*. 2013. V.67. P.192-211. doi: [10.1016/J.SOILBIO.2013.08.024](#).
14. Brookes P.C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D.S. Chloroform fumigation and the release of soil-nitrogen - A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil // *Soil Biol. Biochem*. 1985. V.17. Iss. 6. P.837-842. doi:[10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](#).
15. Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuiper T.W., Mäder P., Pulleman M. Sukkel W., van Groenigen J.W., Brussaard L. Soil quality – A critical review // *Soil Biol. Biochem*. 2018. V. 120. P.105-125. doi:[10.1016/j.soilbio.2018.01.030](#).
16. Catão E.C. P., Lopes F. A. C., Araújo J. F., et al. Soil Acidobacterial 16S rRNA Gene Sequences Reveal Subgroup Level Differences between Savanna-Like Cerrado and Atlantic Forest Brazilian Biomes // *International Journal of Microbiology*. 2014. V. 2014. Article ID 156341, 12 pages. doi:[10.1155/2014/156341](#).
17. Coleman D.C. Through a ped darkly – an ecological assessment of root soil-microbial-faunal interactions // *Ecological Interactions in the Soil: Plants, Microbes and Animals*. Oxford: Blackwells, 1985. P.1-21.
18. Du Z., Riveros-Iregui D.A., Jones R.T., et al. Landscape position influences microbial composition and function via redistribution of soil water across a watershed // *Applied and Environmental Microbiology*. 2015. V.81. Iss. 24. P.8457-8468. doi:[10.1128/AEM.02643-15](#).
19. Edgar R.C. Search and clustering orders of magnitude faster than BLAST // *Bioinformatics*. 2010. V.26. Iss.19. P. 2460-2461. doi:[10.1093/BIOINFORMATICS/BTQ461](#).
20. Edgar R.C. UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads // *Nat Methods*. 2013. V.10. Iss.10. P. 996–998. doi: [10.1038/NMETH.2604](#).
21. Edgar R.C. UNOISE2: Improved error-correction for Illumina 16S and ITS amplicon reads // *bioRxiv*. 2016a.. doi:[10.1101/081257](#)
22. Edgar R. C. SINTAX, a Simple Non-Bayesian Taxonomy Classifier for 16S and ITS Sequences // *bioRxiv*. 2016b. doi: [10.1101/074161](#).
23. Eichorst S. A., Kuske C. R., Schmidt T. M. Influence of plant polymers on the distribution and cultivation of bacteria in the phylum *Acidobacteria* // *Appl. Environ. Microbiol*. 2011. V.77. Iss. 2. P. 586–596. doi: [10.1128/AEM.01080-10](#).
24. Eichorst S.A., Trojan D., Roux S., Herbold C., Rattei T., Woebken D. Genomic insights into the *Acidobacteria* reveal strategies for their success in terrestrial environments // *Environmental Microbiology*. 2018. V.20. Iss.3. P.1041-1063. doi:[10.1111/1462-2920.14043](#).
25. Fierer N., Bradford M. A., Jackson R. B. Toward an ecological classification of soil bacteria // *Ecology*. 2007. V. 88. P.1354–1364. doi:[10.1890/05-1839](#).

26. Falchini L., Naumova N., Kuikman P.J., Bloem J., Nannipieri P. CO₂ evolution and denaturing gradient gel electrophoresis profiles of bacterial communities in soil following addition of low molecular weight substrates to simulate root exudation // *Soil Biol. Biochem.* 2003. V. 35. P.775-782. doi:10.1016/S0038-0717(03)00105-6.
27. FAO. FAO Global Forest Resources Assessment-2015. Country Report. Russian Federation. 2015.
28. Fauth E., Bernardo J., Camara M., Resetarits Jr. W.J., Van Buskirk J., McCollum S.A. Simplifying the Jargon of community ecology: a conceptual approach // *The American Naturalist.* 1996. V.147. Iss.2. P.282-286.
29. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica.* 2001. V.4. Iss.1. 9 pages.
30. Hughes J.B., Hellmann J.J. The application of rarefaction techniques to molecular inventories of microbial diversity // *Methods in Enzymology.* 2005. V. 397. P.292-308. doi: 10.1016/S0076-6879(05)97017-1.
31. Insam H., Haselwandter K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession // *Oecologia.* 1989. V. 79. Iss.2. 174-178. doi: 10.1007/BF00388474.
32. IUSS Working Group. WRB, World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2014.
33. Ito N., Iwanaga H., Charles S., Diway B., Sabang J., Chong L., Nanami S., Kamiya K., Lum S., Siregar U.J., Harada K., Miyashita N.T. Geographical variation in soil bacterial community structure in tropical forests in Southeast Asia and temperate forests in Japan based on pyrosequencing analysis of 16S rRNA // *Genes Genet Syst.* 2017. V. 92. Iss.1. P.1-20. doi: 10.1266/GGS.16-00013.
34. Jenkinson D. S., Ladd J. N. Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover // *Soil Biochemistry.* 1981. V. 5. P. 415-471.
35. Kielak A.M., Barreto C.C., Kowalchuk G.A., van Veen J.A., Kuramae E.E. The Ecology of Acidobacteria: Moving beyond Genes and Genomes // *Front Microbiol.* 2016 V. 7. Article N°744. doi:10.3389/fmicb.2016.00744.
36. Kielak A. M., van Veen J.A., Kowalchuk G.A. Comparative analysis of acidobacterial genomic fragments from terrestrial and aquatic metagenomic libraries, with emphasis on acidobacteria subdivision 6 // *Appl. Environ. Microbiol.* 2010. V. 76. Iss. 20. P. 6769-6777. doi: 10.1128/AEM.00343-10.
37. Kirillova I.V., Argant J., Lapteva E.G., Korona O.M., J. van der Plicht., Zinovyev E.V., Kotov A.A., Chernova O.F., Fadeeva E.O., Baturina O.A., Kabilov M.R., Shidlovskiy F.K., Zanina O.G. The diet and environment of mammoths in North-East Russia reconstructed from the contents of their feces // *Quaternary International.* 2016. V. 406. Part B. P. 147-161. doi:10.1016/j.quaint.2015.11.002.
38. Li Y., Wu J., Shen J., Liu S., Wang C., Chen D., Huang T., Zhang J. Soil microbial C:N ratio is a robust indicator of soil productivity for paddy fields // *Scientific Reports.* 2016. V. 6. Article N°35266. doi:10.1038/SREP35266.
39. Lladó S., López-Mondéjar R., Baldrian, P. Forest soil bacteria: diversity, involvement in ecosystem processes, and response to global change // *Microbiol. and Mol. Biology Rev.* 2017. V.81. Iss.2. e00063-16. doi: 10.1128/MMBR.00063-16.
40. López-Mondéjar R., Voříšková J., Větrovský T., Baldrian P. The bacterial community inhabiting temperate deciduous forests is vertically stratified and undergoes seasonal dynamics // *Soil Biol. Biochem.* 2015. V.87. P.43-50. doi:10.1016/j.soilbio.2015.04.008.
41. Männistö M. K., Rawat S., Starovoytov V., Haggblom M. M. Granulicella arctica sp. nov., Granulicella mallensis sp. nov., Granulicella tundricola sp. nov. and Granulicella sapmiensis sp. nov., novel acidobacteria from tundra soil // *Int. J.Syst. EV. Microbiol.* 2012. V.62. P. 2097-2106. doi:10.1099/ijs.0.031864-0.
42. Miyashita N. T. Contrasting soil bacterial community structure between the phyla Acidobacteria and Proteobacteria in tropical Southeast Asian and temperate Japanese forests // *Genes & Genetic Systems.* 2015. V. 90, Iss. 2. P. 61-77. doi:10.1266/ggs.90.61
43. Miyashita N.T., Iwanaga H., Charles S., Diway B., Sabang J., Chong L. Soil bacterial community structure in five tropical forests in Malaysia and one temperate forest in Japan revealed by pyrosequencing analyses of 16S rRNA gene sequence variation // *Genes & Genetic Systems.* 2013. V.88. Iss. 2. P.93-103.
44. Nacke H., Goldmann K., Schöning I., Pfeiffer B., Kaiser K., Castillo-Villamizar G.s A., Schruppf M., Buscot F., Daniel R., Wubet T. Fine spatial scale variation of soil microbial communities under European Beech and Norway spruce // *Front. Microbiol.* 2016. V.22. Iss.7. Article N°2067. doi:10.3389/fmicb.2016.02067.
45. Naumova N.B., Kuznetsova G.V., Alikina T.Y., Kabilov M.R. Bacterial 16S DNA diversity in the rhizosphere soil of two pine species // *Biomics.* 2015. V. 7. P.127-136.
46. Nesme J., Achouak W., Agathos S.N. et al. Back to the Future of Soil Metagenomics // *Frontiers in Microbiology.* 2016. V. 7. Article N°73. doi: 10.3389/fmicb.2016.00073.
47. Pankratov T. A., Serkebaeva Y. M., Kulichevskaya I. S., Liesack W., Dedysh S. N. Substrate-induced growth and isolation of Acidobacteria from acidic Sphagnum peat // *ISME J.* 2008. V.2. Iss. 5. P. 551-560. doi:10.1038/ismej.2008.7
48. Pell M., Stenstrom L., Granhall U. Soil respiration // *Microbiological methods for Assessing Soil Quality.* Wallingford: CABI International, 2005. p.117-126.
49. Ricotta C. Of beta diversity, variance, evenness, and dissimilarity // *Ecology and Evolution.* 2017. V. 7. Iss.13. P. 4835-4843. doi:10.1002/ece3.2980.

50. Siles J.A., Margesin R. Abundance and diversity of bacterial, archaeal, and fungal communities along an altitudinal gradient in alpine forest soils: What are the driving factors? // *Microb Ecol.* 2016. V.72. Iss.1. P.207–220. doi:10.1007/s00248-016-0748-2.
51. Siles, J. A., Margesin, R. Seasonal soil microbial responses are limited to changes in functionality at two Alpine forest sites differing in altitude and vegetation // *Scientific Reports.* 2017. V.7, Iss. 1. Article N° 2204. doi: 10.1038/S41598-017-02363-2.
52. Soil Sampling and methods of Analysis. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press; 2008. 1224 p.
53. Stavi I, Bel G, Zaady E Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review // *Agronomy for sustainable development.* 2016. V.36. P.32. doi:10.1007/s13593-016-0368-8.
54. Urbanová M., Šnajdr J., Baldrian P. Composition of fungal and bacterial communities in forest litter and soil is largely determined by dominant trees // *Soil Biol. Biochem.* 2015. V.84. P.53–64. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2015.02.011
55. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C // *Soil Biol. Biochem.* 1987. V. 19. Iss. 6. P.703-707. doi:10.1016/0038-0717(87)90052-6.
56. VanInsberghe D., Maas K. R., Cardenas E., Strachan C. R., Hallam S. J., Mohn W. W. Non-symbiotic Bradyrhizobium ecotypes dominate North American forest soils // *The ISME journal.* 2015. V.9. Iss. 11. P. 2435-2441. doi: 10.1038/ismej.2015.54.
57. Wang Q., Li Y., Wang Y. Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources // *Environ. Monit. Assess.* 2011. V.174. Iss.1-4. P.241-257. doi: 10.1007/S10661-010-1454-Z.
58. Wang N., Wann M., Li S. et al. Effects of variation in precipitation on the distribution of soil bacterial diversity in the primitive Korean pine and broadleaved forests // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2014. V.30. Iss. 11. P. 2975-2984. doi:10.1007/s11274-014-1725-x.
59. Weber P., Bardgett R.D. Influence of single trees on spatial and temporal patterns of belowground properties in native pine forest // *Soil Biol. Biochem.* 2011. V. 43. Iss.6. P.1372-1378. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2011.03.015.
60. Wei Z., Hu X., Li X., Zhang Y., Jiang L., Li J., Guan Z., Cai Y., Liao X. The rhizospheric microbial community structure and diversity of deciduous and evergreen forests in Taihu Lake area, China // *PLoS ONE.* 2017. V.12. Iss.4. e0174411. doi: 10.1371/journal.pone.0174411.
61. Wei H., Peng C., Yang B., Song H., Li Q., Jiang L., Wei G., Wang K., Wang H., Liu S., et al. Contrasting Soil Bacterial Community, Diversity, and Function in Two Forests in China // *Front. Microbiol.* 2018. V.9. Article N°1693. doi: 10.3389/FMICB.2018.01693.
62. Wolińska A., Kuźniar A., Zielenkiewicz U., Izak D., Szafranek-Nakonieczna A., Banach A., Błaszczuk M. Bacteroidetes as a sensitive biological indicator of agricultural soil usage revealed by a culture-independent approach // *Applied Soil Ecology.* 2017. V.119. P. 128-137. doi:10.1016/j.apsoil.2017.06.009.
63. Zhao Q., Zeng D.H., Fan Z.-P. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizospheres of three tree species in a nutrient-poor sandy soil // *Applied Soil Ecology.* 2010. V. 46. Iss. 3. P.341-346. doi: 10.1016/J.APSSOIL.2010.10.007.
64. Žifčáková L., Větrovský T., Howe A. et al. Microbial activity in forest soil reflects the changes in ecosystem properties between summer and winter // *Environ. Microbiol.* 2016. V.18. Iss. 1. P.288–301. doi: 10.1111/1462-2920.13026

Поступила в редакцию 16.10.2018

Принята 03.12.2018

Опубликована 04.12.2018

Сведения об авторах:

Наумова Наталья Борисовна – к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия), naumova@issa-siberia.ru

Аликина Татьяна Юрьевна – младший научный сотрудник ЦКП «Геномика» ФГБУН Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск, Россия), alikina@niboch.nsc.ru

Кузнецова Галина Васильевна – к.б.н., старший научный сотрудник ФГБУН Института леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН (Красноярск, Россия), galva@ksn.krasn.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

BIODIVERSITY OF BACTERIAL ASSEMBLAGES IN THE HAPLIC CAMBISOL UNDER KOREAN PINE

© 2018 N.B.Naumova¹, T.Y. Alikina², G.V.Kuznetsova³

Address: ¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Novosibirsk, Russia. E-mail: naumova@issa-siberia.ru

²Institute of Chemical Biology and Fundamental Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: alikina@niboch.nsc.ru

³Sukachev Institute of Forest KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: galva@ksn.krasn.ru

The aim of the study was to investigate genetic diversity of bacterial assemblages in a Burozem eluvial soil (Haplic Cambisol) and reveal their relationships with soil chemical and microbiological properties.

Time and location of the study. The Haplic Cambisol samples were collected from 0-20 cm layer (immediately below the litter) from adjacent plots with Korean pine of the long-term (40 years) field experiment in the Khabarovsk region (48°16' N, 135°02' E).

Methodology. Bulk and rhizosphere soil samples were collected, the latter by gentle shaking of 3mm-thick pine roots and collection of adhered soil. Some chemical (pH, organic C and N content, exchangeable nutrient) and microbiological (soil microbial biomass C and N content, soil basal and substrate-induced respiration) properties were determined. Soil metagenomic DNA was extracted and used as a matrix for amplification of the hypervariable V3-V4 regions of 16S rRNA genes with universal bacterial primers. The obtained amplicons were sequenced using Illumina MiSeq. The read data reported in this study were submitted to the GenBank under the SRA accession SRP152492, available online at <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra/SRP152492>. The sequence reads were identified down to operational taxonomic units (OTUs) at the 97% similarity level. Then the matrix with OTU reads abundance was statistically analysed by principle components analysis, multidimensional scaling and ANOVA. Indices of α - β -biodiversity were also calculated.

Main results. In bacterial assemblages of the Haplic Cambisol under Korean pine, growing in its natural environment, overall 400 OTUs were identified, with just 42 OTUs being dominant, i.e. contributing $\geq 1\%$ into the total number of sequences. The studied soil was dominated by Acidobacteria (34% of the total number of sequences), Proteobacteria (25%) and Actinobacteria (9%). The indices of species richness were determined mostly by the first dominant phylum, whereas the biodiversity indices related mostly to species evenness were determined by the second dominant phylum. The major classes were Alphaproteobacteria (21%), Acidobacteria group 1 (13%) and Ktedonobacteria (12%). Among the first 5 dominant OTUs two OTUs were present in all soil samples. They belonged to the Rhizobiales, i.e. nitrogen-fixing bacteria.

Conclusion. The species composition of bacterial assemblages in the Haplic Cambisol under Korean pine, growing in the artificial mono-species phytocenosis in its natural environment, was inventoried for the first time, providing the starting point for further research. Domination of nitrogen-fixing bacteria in soil under Korean pine indicates the importance of nitrogen fixation for supplying nitrogen for the growth and development of such a highly productive species as Korean pine. The revealed positive correlation between bacterial species (OTUs) richness and microbial biomass contribution into soil organic matter is very important for confirming the importance and broadening the interpretation of this parameter as a standard indicator of soil quality.

Key words: Korean pine; *Pinus koraeensis* Siebold et Zucc; brown forest podzolic soil; Haplic Cambisol; 16S rDNA; metagenomics; biodiversity; rhizosphere

How to cite: Naumova N.B., Alikina T.Y., Kuznetsova G.V. Biodiversity of bacterial assemblages in the Haplic Cambisol under Korean pine // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(3): 151 – 169. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Vyvydtsev N.V., Somov E.V., Tyutrin S.A., Koboyashi R. Bioecological and morphometric characteristics of cedar pine forests in Khabarovsk krai, *Forest taxation and forest management*, 2012, V.2, Iss.40, P. 27-34. (in Russian)
2. Iroshnikov A. I. Geographical cultures and plantations of coniferous species in Siberia. Novosibirsk, 1977. PP. 104-110. (in Russian)
3. *Classification and diagnostics of soils in Russia* / Compilers: Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimoiva M.I.. Smolensk: Oykumena Pubs., 2004. (in Russian)

4. Kuznetsova G.V. Growth, status and development of cedar pines in provenance experiments in the south of Krasnoyarsk region, *The coniferous of the boreal zone*, 2010, V. XXVII, Iss.1-2, p. 102-107. (in Russian).
5. Naumova N., Makarikova R., Kuznetsova G. Biomass and activity of soil microorganisms under different pine species and climatypes, *AgroEcoInfo*, 2014, Iss. 3, Article No4. (in Russian).
6. Popov A.G. The initial introduction of some 5-needle pine species on the south forest part of Western Siberia, *Conifers of the Boreal Area*, 2010, V. 27, p.169 -174.
7. Angst G., Kögel-Knabner I., Kirfel K., Hertel D., Mueller C.W. Spatial distribution and chemical composition of soil organic matter fractions in rhizosphere and non-rhizosphere soil under European beech (*Fagus sylvatica* L.), *Geoderma*, 2016, V. 264, Part A, p.179-187. doi:10.1016/j.geoderma.2015.10.016.
8. de Araujo A.S., Bezerra W.M., Dos Santos V.M., Rocha S.M., Carvalho N.D., de Lyra M.D., Figueiredo M.D., de Almeida Lopes Á.C., Melo V.M. Distinct bacterial communities across a gradient of vegetation from a preserved Brazilian Cerrado, *Antonie van Leeuwenhoek*, 2017, V. 110, Iss.4, p.457-469. doi: 10.1007/S10482-016-0815-1.
9. Augusto L., De Schrijver A., Vesterdal L., Smolander A., Prescott C., Ranger J. Influences of evergreen gymnosperm and deciduous angiosperm tree species on the functioning of temperate and boreal forests, *Biological Reviews*, 2015, V. 90, Iss. 2, p.444–466. doi: 10.1111/brv.12119
10. Bach E.M., Williams R.J., Hargreaves S.K., Yang F., Hofmockel K.S. Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats, *Soil Biol Biochem*, 2018, V.118, p. 217-226. doi:10.1016/j.soilbio.2017.12.018.
11. Baldrian P. Forest microbiome: diversity, complexity and dynamics, *FEMS Microbiology Rev.*, 2017, V. 41. Iss.2, p.109–130. doi: 10.1093/femsre/fuw040.
12. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches, *Soil Biol. Biochem*, 2013, V.67, p.192-211. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2013.08.024.
13. Brookes P.C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D.S. Chloroform fumigation and the release of soil-nitrogen - A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil, *Soil Biol. Biochem*, 1985, V. 17, Iss.6., p. 837-842. doi:10.1016/0038-0717(85)90144-0.
14. Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M. Sukkel W., van Groenigen J.W., Brussaard L. Soil quality – A critical review, *Soil Biol. Biochem*, 2018, V. 120, p.105-125. doi:10.1016/j.soilbio.2018.01.030.
15. Catão E.C. P., Lopes F. A. C., Araújo J. F., et al., “Soil Acidobacterial 16S rRNA Gene Sequences Reveal Subgroup Level Differences between Savanna-Like Cerrado and Atlantic Forest Brazilian Biomes, *International Journal of Microbiology*, 2014, V. 2014, Article ID 156341, 12 pages. doi:10.1155/2014/156341.
16. Coleman D.C. Through a ped darkly – an ecological assessment of root soil-microbial-faunal interactions, *Ecological Interactions in the Soil: Plants, Microbes and Animals*. Oxford: Blackwells, 1985. p.1-21.
17. Du Z., Riveros-Iregui D.A., Jones R.T., et al. landscape position influences microbial composition and function via redistribution of soil water across a watershed, *Applied and Environmental Microbiology*, 2015, V.81, Iss. 24, p.8457-8468. doi:10.1128/AEM.02643-15.
18. Edgar R.C. Search and clustering orders of magnitude faster than BLAST, *Bioinformatics*, 2010, V.26, Iss.19, p. 2460-2461. doi:10.1093/BIOINFORMATICS/BTQ461.
19. Edgar R.C. UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads, *Nat Methods*, 2013, V.10, Iss. 10, p. 996–998. doi: 10.1038/NMETH.2604.
20. Edgar R.C. UNOISE2: Improved error-correction for Illumina 16S and ITS amplicon reads, *bioRxiv*. 2016a. doi:10.1101/081257.
21. Edgar R.C. SINTAX, a Simple Non-Bayesian Taxonomy Classifier for 16S and ITS Sequences, *bioRxiv*. 2016b. doi:10.1101/074161.
22. Eichorst S. A., Kuske C. R., Schmidt T. M. Influence of plant polymers on the distribution and cultivation of bacteria in the phylum *Acidobacteria*, *Appl. Environ. Microbiol.*, 2011, V.77, Iss. 2, p. 586–596. doi: 10.1128/AEM.01080-10.
23. Eichorst S.A., Trojan D., Roux S., Herbold C., Rattei T., Woebken D. Genomic insights into the *Acidobacteria* reveal strategies for their success in terrestrial environments, *Environmental Microbiology*, 2018, V.20, Iss.3, p.1041-1063. DOI:10.1111/1462-2920.14043.
24. Fierer N., Bradford M. A., Jackson R. B. Toward an ecological classification of soil bacteria, *Ecology*. 2007, V.88, p.1354–1364. doi:10.1890/05-1839.
25. Falchini L., Naumova N., Kuikman P.J., Bloem J., Nannipieri P. CO₂ evolution and denaturing gradient gel electrophoresis profiles of bacterial communities in soil following addition of low molecular weight substrates to simulate root exudation, *Soil Biol. Biochem.*, 2003, V.35, p.775-782. doi:10.1016/S0038-0717(03)00105-6.
26. FAO. *FAO Global Forest Resources Assessment-2015. Country Report. Russian Federation. 2015.*
27. Fauth E., Bernardo J., Camara M., Resetarits Jr. W.J., Van Buskirk J., McCollum S.A. Simplifying the Jargon of Community Ecology: A Conceptual Approach, *The American Naturalist*, 1996, V.147, Iss.2, p.282-286.
28. *Field guide for Russian soil*. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian)
29. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis, *Palaeontologia Electronica*, 2001, V.4, Iss.1, 9 pages.
30. Hughes J.B., Hellmann J.J. The Application of Rarefaction Techniques to Molecular Inventories of Microbial Diversity, *Methods in Enzymology*, 2005, V. 397, p.292-308. doi: 10.1016/S0076-6879(05)97017-1.

31. Insam H., Haselwandter K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession, *Oecologia*, 1989, V. 79, Iss. 2, p. 174-178. doi: [10.1007/BF00388474](https://doi.org/10.1007/BF00388474)
32. IUSS Working Group. WRB, World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2014.
33. Ito N., Iwanaga H., Charles S., Diway B., Sabang J., Chong L., Nanami S., Kamiya K., Lum S., Siregar U.J., Harada K., Miyashita N.T. Geographical variation in soil bacterial community structure in tropical forests in Southeast Asia and temperate forests in Japan based on pyrosequencing analysis of 16S rRNA, *Genes Genet Syst.* 2017, V. 92, Iss.1, p.1-20. doi: [10.1266/GGS.16-00013](https://doi.org/10.1266/GGS.16-00013)
34. Jenkinson D. S., Ladd J. N. Microbial Biomass in Soil: Measurement and Turnover., *Soil Biochemistry*, 1981, V. 5, p. 415-471.
35. Kielak A.M., Barreto C.C., Kowalchuk G.A., van Veen J.A., Kuramae E.E. The Ecology of Acidobacteria: Moving beyond Genes and Genomes, *Front Microbiol.*, 2016, V.7, Article N°744. doi:[10.3389/fmicb.2016.00744](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00744).
36. Kielak A. M., van Veen J.A., Kowalchuk G.A. Comparative Analysis of acidobacterial genomic fragments from terrestrial and aquatic metagenomic libraries, with emphasis on acidobacteria subdivision 6, *Appl. Environ. Microbiol.*, 2010, V.76, Iss.20, p. 6769-6777. doi: [10.1128/AEM.00343-10](https://doi.org/10.1128/AEM.00343-10).
37. Kirillova I.V., Argant J., Lapteva E.G., Korona O.M., J. van der Plicht., Zinovyev E.V., Kotov A.A., Chernova O.F., Fadeeva E.O., Baturina O.A., Kabilov M.R., Shidlovskiy F.K., Zanina O.G. The diet and environment of mammoths in North-East Russia reconstructed from the contents of their feces, *Quaternary International*, 2016, V. 406., Part B, p. 147-161. doi:[10.1016/j.quaint.2015.11.002](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.11.002).
38. Li Y., Wu J., Shen J., Liu S., Wang C., Chen D., Huang T., Zhang J. Soil microbial C:N ratio is a robust indicator of soil productivity for paddy fields, *Scientific Reports*. 2016. V. 6. Article N°35266. doi:[10.1038/SREP35266](https://doi.org/10.1038/SREP35266).
39. Lladó S., López-Mondéjar R., Baldrian P. Forest soil bacteria: diversity, involvement in ecosystem processes, and response to global change, *Microbiol. and Mol. Biology Rev.*, 2017, V.81, Iss.2, e00063–16. doi: [10.1128/MMBR.00063-16](https://doi.org/10.1128/MMBR.00063-16).
40. López-Mondéjar R., Voříšková J., Větrovský T., Baldrian P. The bacterial community inhabiting temperate deciduous forests is vertically stratified and undergoes seasonal dynamics, *Soil Biol. Biochem.*, 2015, V.87, p.43–50. doi:[10.1016/j.soilbio.2015.04.008](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.04.008).
41. Männistö M. K., Rawat S., Starovoytov V., Haggblom M. M. *Granulicella arctica* sp. nov., *Granulicella mallensis* sp. nov., *Granulicella tundricola* sp. nov. and *Granulicella sapmiensis* sp. nov., novel acidobacteria from tundra soil, *Int. J.Syst. EV. Microbiol.*, 2012, V.62, p. 2097–2106. doi:[10.1099/ijs.0.031864-0](https://doi.org/10.1099/ijs.0.031864-0).
42. Miyashita N. T. Contrasting soil bacterial community structure between the phyla Acidobacteria and Proteobacteria in tropical Southeast Asian and temperate Japanese forests, *Genes & Genetic Systems*, 2015, V. 90, Iss. 2, p. 61-77. doi:[10.1266/ggs.90.61](https://doi.org/10.1266/ggs.90.61).
43. Miyashita N.T., Iwanaga H., Charles S., Diway B., Sabang J., Chong L. Soil bacterial community structure in five tropical forests in Malaysia and one temperate forest in Japan revealed by pyrosequencing analyses of 16S rRNA gene sequence variation, *Genes & Genetic Systems*, 2013, V.88, Iss. 2, p.93-103.
44. Nacke H., Goldmann K., Schöning I., Pfeiffer B., Kaiser K., Castillo-Villamizar G.s A., Schruppf M., Buscot F., Daniel R., Wubet T. Fine spatial scale variation of soil microbial communities under European Beech and Norway spruce, *Front. Microbiol.*, 2016, V.22, Iss.7, Article N°2067. doi:[10.3389/fmicb.2016.02067](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02067).
45. Naumova N.B., Kuznetsova G.V., Alikina T.Y., Kabilov M.R. Bacterial 16S DNA diversity in the rhizosphere soil of two pine species, *Biomics*, 2015, V.7, p.127-136.
46. Nesme J., Achouak W., Agathos S.N. et al. Back to the Future of Soil Metagenomics, *Frontiers in Microbiology*. 2016, V.7, Article N°73. doi:[10.3389/fmicb.2016.00073](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00073).
47. Pankratov T. A., Serkebaeva Y. M., Kulichevskaya I. S., Liesack W., Dedysh S. N. Substrate-induced growth and isolation of *Acidobacteria* from acidic Sphagnum peat, *ISME J.*, 2008, V.2, Iss.5, p. 551–560. doi:[10.1038/ismej.2008.7](https://doi.org/10.1038/ismej.2008.7)
48. Pell M., Stenstrom L., Granhall U. Soil respiration, *Microbiological methods for Assessing Soil Quality*. Wallingford:CABI International, 2005. p.117-126.
49. Ricotta C. Of beta diversity, variance, evenness, and dissimilarity, *Ecology and Evolution*, 2017, V.7, Iss.13, p. 4835–4843. doi:[10.1002/ece3.2980](https://doi.org/10.1002/ece3.2980)
50. Siles J.A., Margesin R. Abundance and diversity of bacterial, archaeal, and fungal communities along an altitudinal gradient in alpine forest soils: What are the driving factors?, *Microb. Ecol.*, 2016, V.72, Iss.1, p.207–220. doi:[10.1007/s00248-016-0748-2](https://doi.org/10.1007/s00248-016-0748-2).
51. Siles, J. A., Margesin, R. Seasonal soil microbial responses are limited to changes in functionality at two Alpine forest sites differing in altitude and vegetation, *Scientific Reports*, 2017, . V.7, Iss. 1, Article N° 2204. doi: [10.1038/S41598-017-02363-2](https://doi.org/10.1038/S41598-017-02363-2).
52. *Soil Sampling and methods of Analysis*. 2nd edition. Boca Raton: CRC Press; 2008. 1224 p.
53. Stavi I, Bel G, Zaady E. Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review, *Agronomy for sustainable development*, 2016, V.36, p.32. doi:[10.1007/s13593-016-0368-8](https://doi.org/10.1007/s13593-016-0368-8).

54. Urbanová M., Šnajdr J., Baldrian P. Composition of fungal and bacterial communities in forest litter and soil is largely determined by dominant trees, *Soil Biol. Biochem.*, 2015, V.84, p.53–64. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2015.02.011
55. Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C, *Soil Biol. Biochem.*, 1987, V.19, Iss. 6, p.703-707. doi:10.1016/0038-0717(87)90052-6
56. VanInsberghe D., Maas K. R., Cardenas E., Strachan C. R., Hallam S. J., Mohn W. W. Non-symbiotic Bradyrhizobium ecotypes dominate North American forest soils, *The ISME journal*, 2015, V.9, Iss. 11, p. 2435-2441. doi: 10.1038/ismej.2015.54.
57. Wang Q., Li Y., Wang Y. Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources, *Environ. Monit. Assess.*, 2011, V.174, Iss. 1-4, p.241-257. doi: 10.1007/S10661-010-1454-Z.
58. Wang N., Wann M., Li S. *et al.* Effects of variation in precipitation on the distribution of soil bacterial diversity in the primitive Korean pine and broadleaved forests, *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2014, V.30, Iss.11, p.2975-2984. doi:10.1007/s11274-014-1725-x.
59. Weber P., Bardgett R.D. Influence of single trees on spatial and temporal patterns of belowground properties in native pine forest, *Soil Biol. Biochem.*, 2011, V. 43, Iss.6, p.1372-1378. doi: 10.1016/J.SOILBIO.2011.03.015
60. Wei Z., Hu X., Li X., Zhang Y., Jiang L., Li J., Guan Z., Cai Y., Liao X. The rhizospheric microbial community structure and diversity of deciduous and evergreen forests in Taihu Lake area, China, *PLoS ONE*, 2017, V.12, Iss.4, e0174411. doi:10.1371/journal.pone.0174411.
61. Wei H., Peng C., Yang B., Song H., Li Q., Jiang L., Wei G., Wang K., Wang H., Liu S., *et al.* Contrasting soil bacterial community, diversity, and function in two forests in China, *Front.Microbiol.*, 2018, V.9, Article N°1693. doi: 10.3389/FMICB.2018.01693.
62. Wolińska A., Kuźniar A., Zielenkiewicz U., Izak D., Szafranek-Nakonieczna A., Banach A., Błaszczuk M. Bacteroidetes as a sensitive biological indicator of agricultural soil usage revealed by a culture-independent approach, *Applied Soil Ecology*, 2017, V.119, p. 128-137. doi:10.1016/j.apsoil.2017.06.009.
63. Zhao Q., Zeng D.H., Fan Z.-P. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizospheres of three tree species in a nutrient-poor sandy soil, *Applied Soil Ecology*, 2010, V. 46, Iss. 3, p.341-346. doi: 10.1016/J.APSOIL.2010.10.007.
64. Žifčáková L., Větrovský T., Howe A. *et al.* Microbial activity in forest soil reflects the changes in ecosystem properties between summer and winter, *Environ Microbiol.*, 2016, V.18, Iss.1, p.288–301. doi: 10.1111/1462-2920.13026

Received 16 October 2018

Accepted 03 December 2018

Published 04 December 2018

About the authors:

Naumova Natalia – Cand. of Biol. Sci., Leading Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); naumova@issa-siberia.ru

Alikina Tatiana – Junior Researcher in the “Genomics” Core Facility, Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, SB RAS (Novosibirsk, Russia); alિકina@niboch.nsc.ru

Kuznetsova Galina – Cand. of Biol. Sci., Senior Researcher in the Sukachev Forest Institute, KSC SBRAS (Krasnoyarsk, Russia); galva@ksn.krasn.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ФИТОМАССЫ И ПЛОДОРОДИЯ СЕРЫХ ПОЧВ ЗАЛЕЖЕЙ

© 2018 О.А. Сорокина

Адрес: ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», ул.Мира, 90, г. Красноярск, 660049, Россия. Email: geos0412@mail.ru

Цель исследования. Выявить специфику формирования запасов и структуры фитомассы, а также трансформации плодородия серых почв залежей при различном их использовании в лесостепной зоне.

Место и время проведения. Исследования проводились на трех объектах (чистая залежь, залежь, используемая под сенокос и залежь, повторно вовлеченная в пашню) в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепи Красноярского края с 2011 по 2016 гг.

Методология. На всех объектах проводили сопряженный учет запасов и общей структуры надземной травянистой фитомассы и показателей плодородия серых почв. Рассчитали статистические параметры достоверности различий и корреляционной взаимосвязи продуктивности растений с показателями эффективного и потенциального плодородия постагрогенных серых почв залежей.

Основные результаты. Восстановительные сукцессии надземной травянистой растительности залежей лесостепной зоны Красноярского края свидетельствуют о переходной от корневищной к дерновинной стадии. Растительность залежи Красноярской лесостепи представлена пырейно-разнотравным фитоценозом с долей рудеральных видов около 30 %. Флора залежей Ачинско-Боготольской лесостепи отличается более богатым видовым составом с увеличением доли бобовых видов, при этом сорный компонент в травостое залежей занимает примерно 30 %. Богатство видового состава трав на залежах в обоих районах исследования зависит от условий увлажнения; показано, что запасы продуктивной влаги в почвах Ачинско-Боготольской лесостепи существенно выше, чем в Красноярской лесостепи. Использование залежи под сенокос ускоряет наступление дерновинной стадии сукцессии и приводит к вытеснению разнотравья злаковым компонентом за счет уплотнения почвы при сенокосении. В условиях пашни в составе надземной растительности преобладает доля злаков за счет выращиваемых полевых культур, таких как овес и пшеница, в то же время резко возрастает доля разнотравья за счет сорного компонента.

Общие запасы надземной травянистой фитомассы максимальные на чистых залежах в обоих районах исследования, что подтверждается статистически. Исключением является распаханная залежь с посевом овса, биомасса которого резко нарастала от летнего к осеннему сроку учета. Более продуктивными являются залежи Ачинско-Боготольской лесостепи за счет оптимальной влажности почв в течение всей вегетации. Залежи, используемые под сенокосы, не отличаются высокой продуктивностью, запасы травянистой фитомассы на них практически одинаковые в обоих районах исследования.

Установлено, что вовлечение залежей в пашню существенно ухудшает показатели потенциального плодородия почв. Динамика показателей эффективного почвенного плодородия (нитратный и аммонийный азот) зависят от характера использования участка; при распашке залежи усиливается минерализация органического вещества, увеличивается содержание нитратного и аммонийного азота. Выявлено статистически достоверное изменение комплекса почвенно-агрохимических свойств чистых залежей в сторону улучшения. Между запасами фитомассы и показателями потенциального и эффективного плодородия почв в Ачинско-Боготольской лесостепи установлена более тесная корреляционная зависимость, по сравнению с Красноярской лесостепью, за счет оптимального режима увлажнения.

Заключение. Установлены максимальные запасы надземной фитомассы на чистых залежах в переходной от корневищной к дерновинной стадии сукцессии, что приводит к повышению плодородия постагрогенных серых почв. В структуре фитомассы залежей преобладает разнотравный компонент. Использование залежей под сенокосы снижает продуктивность растений, увеличивает в травостое долю злакового компонента, ускоряет наступление дерновинной стадии сукцессии и ухудшает показатели почвенного плодородия. При введении залежи в пашню зафиксирована минимальная продуктивность фитомассы и снижение биогенной аккумуляции.

Ключевые слова: лесостепь; залежь; сенокос; пашня; влажность; запасы фитомассы; варьирование; серые почвы; плодородие; биогенные показатели; корреляционная зависимость

Цитирование: Сорокина О.А. Оценка запасов фитомассы и плодородия серых почв залежей // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.170–179.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее отчетливо последствия агрогенного изменения экосистем проявляются в смене продуктивности и видового состава фитоценозов. Сельскохозяйственная деятельность, как правило, приводит к изменению растительности: обеднению генетических ресурсов, стиранию региональных черт флоры, уменьшению богатства и экологического разнообразия. Изучение продуктивности залежей в ходе сукцессий растительного сообщества является важным аспектом (Анциферова, 2005; Люри, 2008). Запасы и структура фитомассы при восстановлении и дальнейшем использовании залежей являются определяющим фактором, влияющим на почвообразование и плодородие почв. Они дают представление о скорости биологического круговорота, раскрывают пути приспособления различных экосистем к меняющимся экологическим факторам воздействия (Титлянова, 2000; Кудеяров, 2006; Ковалева, 2005). Современная информация по количественной оценке продуктивности фитомассы залежей и сопряженной динамике плодородия почв в Средней Сибири весьма ограничена.

Цель исследований: оценить запасы и общую структуру надземной фитомассы залежей Ачинско-Боготольской и Красноярской лесостепи при различном направлении их использования, а также дать оценку корреляционной зависимости между запасами фитомассы и показателями плодородия постагрогенных серых почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По агроклиматическому районированию территория Красноярской лесостепи относится к холодно-умеренному подполюсу умеренного пояса, к области нормального увлажнения с ГТК=1. Среднегодовая температура воздуха отрицательная (-1,8°C). Климат Ачинско-Боготольской лесостепи резко континентальный, достаточно увлажненный (ГТК=1,4). Средняя многолетняя температура воздуха колеблется от 0° до +1°C. На рисунке 1 представлено географическое положение районов исследования.



Рисунок 1. Районы исследования в лесостепной зоне Красноярского края

Исследования проводили в 2011-2016 гг. на пробных площадях чистых, то есть не зарастающих лесом залежей, а также залежей, повторно вовлеченных в пашню и используемых под сенокосы. На чистой залежи Ачинско-Боготольской лесостепи установлена переходная стадия сукцессии (от корневищной к дерновинной). Растительность залежи под сенокосом представлена, преимущественно, луговым фитоценозом, характерным для лесостепной зоны. В Красноярской

лесостепи чистая разнотравно-злаковая залежь также представляет переходную стадию сукцессии от корневищной к дерновинной. Залежь под сенокосом характеризуется разнотравно-пырейным фитоценозом. Распаханные залежи использовались под посевы зерновых культур в течение трех лет без применения удобрений (1 год – пшеница, 2 год – овес, 3 год – пар).

Серые постагrogenные почвы в Красноярской и Ачинско-Боготольской лесостепей развиты на коричнево-бурых глинах. Они имеют полно развитый профиль со следующим общим строением: O (1-3см) – AУра (15-21см) – AEL (12-18см) – BEL (15-31см) – BT (14-23см) – BC (20-23см) – C.

Запасы фитомассы (т/га) на всех объектах учитывали посредством укосов по рамке 0,5 x 0,5 м в пятикратной повторности. Количественная оценка запасов воздушно-сухой фитомассы проводилась в два срока: в период максимального развития вегетативной массы (1 укос в конце июня) и при окончании вегетации (2 укос в конце августа). Образцы почвы отбирали из слоев 0-10 и 10-20 см в десятикратной повторности. Общепринятыми методами определили содержание гумуса, общего азота (Nобщ), элементов минерального питания: аммонийного азота (N-NH₄), нитратного азота (N-NO₃), подвижного фосфора (P₂O₅) и обменного калия (K₂O). Рассчитали коэффициенты пространственного варьирования (C_v, %) всех показателей, достоверность различий (tфакт по критерию Стьюдента) запасов фитомассы (Mcp), а также коэффициенты парной корреляции (r) между запасами фитомассы и почвенно-агрохимическими свойствами (Mcp).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенных исследованиях установлено, что на разновозрастных залежах Красноярского и Ачинско-Боготольского лесостепных природных округов встречается более 16 видов травянистых растений, среди них имеются как естественные для природных условий виды растений, так и рудеральные виды. В экологическом отношении растительность залежей представлена видами, характерными для лугово-степных фитоценозов. Травостой залежей обоих районов исследования характеризуется преобладанием разнотравья и злаковых, а доля бобовых видов незначительна.

Залежь в Красноярской лесостепи представлена пырейно-разнотравным фитоценозом. Общее проективное покрытие составляет 80%. Большинство видов трав относится к луговым (около 40%). Однако в травостое принимают участие и степные виды (около 20%), что характерно для открытых массивов южной части Красноярской лесостепи. Доминирующие позиции в фитоценозах залежей занимают крупно-травные растения. В экологическом отношении растительность таких залежей Красноярской лесостепи представлена, в основном, мезоксерофитами, которые характерны для лугово-степных фитоценозов.

Залежь в Ачинско-Боготольской лесостепи представляет собой переходную от корневищной к дерновинной стадию залежной сукцессии. Встречается более 20 видов растений, треть из которых сорные. Наиболее существенную роль в проективном покрытии (70-80%) занимают мезофиты, характерные для луговых ценозов.

Продуктивность надземной травянистой биомассы в постагrogenных ландшафтах лесостепной зоны Красноярского края напрямую зависит от условий увлажнения. Запасы продуктивной влаги в почвах залежей всех объектов Ачинско-Боготольской лесостепи характеризуются как хорошие в слое 0-20 см (табл.1), что связано с лучшими условиями увлажнения. Задернованная поверхность снижает испарение влаги из почвы, улучшает развитие травостоя на залежи, что оказывает влияние на показатели эффективного плодородия почвы и создание оптимальных условий для развития растений.

Объекты исследования в Красноярской лесостепи характеризуются удовлетворительными запасами продуктивной влаги. В этом районе максимальные запасы влаги зафиксированы на чистой залежи. Они составляют 28,4 мм в слое 0-20 см, что также приводит здесь к формированию более высокой продуктивности. На распаханной залежи и сенокосе обоих зон исследования запасы продуктивной влаги характеризуются как удовлетворительные.

Получены низкие коэффициенты пространственного варьирования запасов продуктивной влаги, особенно в постагrogenных серых почвах Ачинско-Боготольской лесостепи. Неравномерность уплотнения почв при работе сеноуборочной техники на сенокосах по сравнению с распаханными массивами несколько повышает пространственную неоднородность запасов продуктивной влаги. Формирующийся здесь микрорельеф с западинами и небольшими повышениями способствует увеличению пространственной пестроты.

Таблица 1

Запасы продуктивной влаги (M_{cp} , мм) в слое 0-20 см в постагрогенных серых почвах залежей и их пространственное варьирование (C_v , %)

Зона	Объекты					
	чистая залежь		сенокос на залежи		распаханная залежь	
	M_{cp}	C_v , %	M_{cp}	C_v , %	M_{cp}	C_v , %
Красноярская лесостепь	28,4	21,4	22,3	17,5	23,8	9,2
Ачинско-Боготольская лесостепь	42,6	2,3	36,2	12,8	36,2	4,1

В лесостепной зоне чередуются значительно отличающиеся по фитомассе две природные зоны – лес и степь (луга). Сравняя продуктивность залежей, объектов наших исследований с продуктивностью лугово-степной зоны по Н.И. Базилевич и Л.Е. Родину (1971), их можно охарактеризовать как луговые степи, запасы воздушно-сухой фитомассы которых составляют от 2,75 до 6,52 т/га (табл. 2). Исходя из данных А.Г. Воронова (1987), изученные нами залежи по продуктивности соответствуют естественным фитоценозам лесостепной зоны.

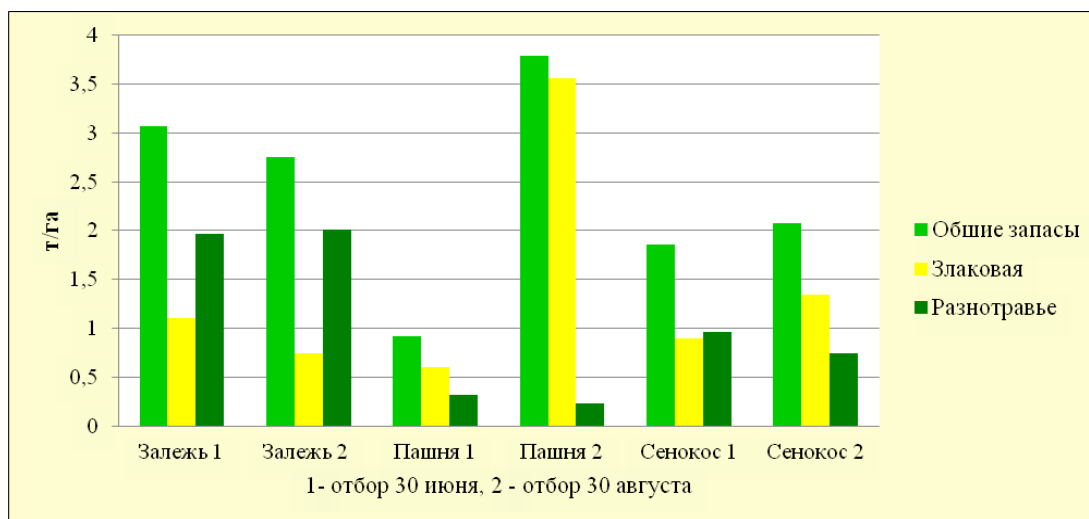


Рисунок 2. Общие запасы и структура фитомассы залежей (т/га) при различном использовании в Красноярской лесостепи

Биоценозы залежей Красноярской лесостепи характеризуются меньшей продуктивностью травянистой фитомассы по сравнению с Ачинско-Боготольской лесостепью. Это может быть связано с более выраженными засушливыми условиями Красноярской лесостепи в июне-июле 2012 года. На залежи продуктивность фитомассы более высокая, чем на сенокосе, что вполне закономерно. Если на чистой залежи Красноярской лесостепи в структуре фитомассы преобладало разнотравье, то в структуре биомассы сенокоса, особенно ко второму сроку укоса, доминировал злаковый компонент (рис.2). Максимальные запасы фитомассы на пашне в Красноярской лесостепи во второй срок определения объясняются интенсивным развитием овса во вторую половину вегетации, когда прошли обильные дожди, что привело к активному нарастанию надземной фитомассы, в структуре которой, закономерно, преобладал злаковый компонент.

В Ачинско-Боготольской лесостепи растительность чистой залежи также представляет собой переходную от дерновинной к корневищной стадии сукцессии. Как указывалось выше, распаханную залежь используют под посевы без внесения удобрений. Растительность залежи под сенокосом представлена, преимущественно, луговым фитоценозом, характерным для Ачинско-Боготольской лесостепи. На залежи и сенокосе в Ачинско-Боготольской лесостепи наиболее существенную роль в проективном покрытии занимают мезофиты.

Максимальная продуктивность фитомассы укосов в Ачинско-Боготольской лесостепи отмечается на чистой залежи в оба срока. На других объектах отмечена невысокая продуктивность укосов, что объясняется сложными гидротермическими условиями. В июне-июле 2012 года на всей

территории Красноярского края была засуха. Когда производились укосы в первом сроке, развитие травостоя было в два раза меньше нормы. Высокие значения фитомассы на чистой залежи Ачинско-Боготольской лесостепи связаны с выраженным микрорельефом участка при выровненном мезорельефе, что очень характерно для данной зоны. Микрозападины и небольшие повышения способствовали большему задержанию влаги и, следовательно, увеличению развития травостоя.

Травянистая растительность залежей Ачинско-Боготольской лесостепи характеризуется обилием разнотравья и меньшей долей злаковых (рис. 3). Самое интенсивное нарастание вегетативной массы трав отмечается в почве пашни, освоенной из-под залежи в Ачинско-Боготольской лесостепи, что связано с сильным развитием в паровом поле сорного компонента, в структуре которого преобладало разнотравье.

В структуре травостоя залежей несколько преобладает доля разнотравья, также присутствуют и злаковые виды. Участки сенокосов, прошедших стадию залежей, характеризуются невысоким уровнем продуктивности фитомассы и удовлетворительным ее отрастанием после сенокоса. Использование залежей под сенокосы, особенно к концу вегетации (2 срок укоса), приводит к вытеснению разнотравья и существенному увеличению злаков. Участки сенокосов можно отнести к разнотравно-злаковым. Это также свидетельствует о более интенсивном проявлении здесь дерновинной стадии сукцессии, усиливающейся при уплотнении почвы от работающей сеноуборочной техники.

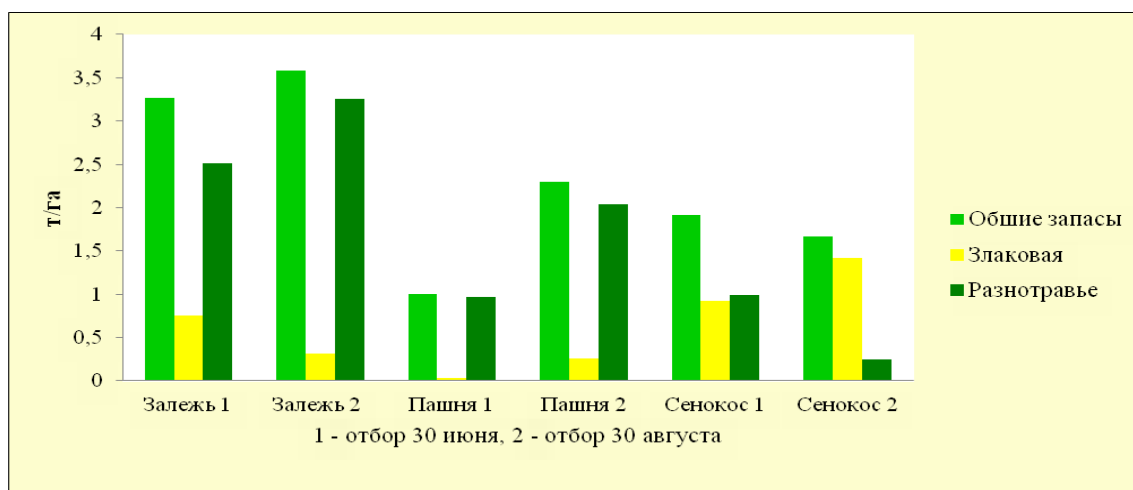


Рисунок 3. Общие запасы и структура фитомассы залежей (т/га) при различном использовании в Ачинско-Боготольской лесостепи

Разнотравье чистых и используемых под сенокосы залежей различается между собой по кормовому значению. Среди них есть как отлично и хорошо, так и удовлетворительно поедаемые растения. В разнотравье изученных залежей практически не встречаются вредные и ядовитые виды. Сено отличается высокой питательностью и энергетической ценностью. Увеличение доли злакового компонента в составе травостоя залежных сенокосов повышает количество сахаров и улучшает кормовую ценность биомассы трав (Косяненко, 2005). Низкая доля бобовых видов обедняет надземную травянистую фитомассу протеинами, что характерно для большинства кормовых угодий лесостепной зоны Красноярского края.

Таким образом, максимальные запасы надземной травянистой фитомассы в оба срока определения получены на залежи в Ачинско-Боготольской лесостепи. Это связано с более высокой влагообеспеченностью данной зоны и сильнее выраженным микрорельефом почвы.

Различия по запасам фитомассы между объектами исследования статистически подтверждаются. Критерий достоверности Стьюдента (t факт) в большинстве случаев превышает теоретическое значение (t теор. = 2,1), что следует из таблицы 2. Самые высокие коэффициенты пространственного варьирования запасов фитомассы характерны для чистых залежей, где более выражена куртинистость напочвенного покрова. Незначительное варьирование надземной биомассы отмечено на пашне, освоенной из-под залежи. Максимальная продуктивность фитомассы и ее менее выраженное пространственное варьирование зафиксировано на чистых разнотравно-злаковых залежах Ачинско-Боготольской лесостепи (табл. 2).

Таблица 2

Статистические параметры запасов фитомассы залежей (т/га)
при их различном использовании (ср. из 5 повт.)

Объекты	Статистические параметры	Укосы по годам					
		1		2		3	
		сроки укосов					
		1	2	1	2	1	2
Красноярская лесостепь							
Чистая залежь	Mcp	3,14	6,18	3,07	2,75	3,14	4,62
	Cv, %	23,2	34,9	19,8	16,7	35,3	30,0
	t _{факт}	t ₁₋₂ 4,9	t ₁₋₂ 4,8	t ₁₋₂ 8,2	t ₁₋₂ 2,5	t ₁₋₂ 1,7	-
Сенокос на залежи	Mcp	3,02	4,42	1,86	2,08	2,48	2,54
	Cv, %	16,2	3,7	18,3	21,3	22,8	19,4
	t _{факт}	t ₁₋₃ 0,2	t ₁₋₃ 2,5	t ₁₋₃ 2,2	t ₁₋₃ 2,5	t ₁₋₃ 1,2	t ₁₋₃ 3,2
Распаханная залежь	Mcp	1,98	3,76	0,92	3,79	2,18	-
	Cv, %	7,9	2,8	20,4	20,3	25,0	-
	t _{факт}	t ₂₋₃ 6,4	t ₂₋₃ 2,4	t ₂₋₃ 2,3	t ₂₋₃ 4,3	t ₂₋₃ 0,9	-
Ачинско-Боготольская лесостепь							
Чистая залежь	Mcp	3,29	6,52	3,27	3,58	4,24	7,16
	Cv, %	20,1	4,4	38,7	17,1	20,4	11,7
	t _{факт}	t ₁₋₂ 5,5	t ₁₋₂ 7,8	t ₁₋₂ 3,6	t ₁₋₂ 3,5	t ₁₋₂ 0,7	-
Сенокос на залежи	Mcp	3,36	3,99	1,91	1,67	2,86	4,18
	Cv, %	8,6	3,4	23,2	26,4	38,2	21,8
	t _{факт}	t ₁₋₃ 0,3	t ₁₋₃ 8,0	t ₁₋₃ 2,3	t ₁₋₃ 5,6	t ₁₋₃ 1,8	t ₁₋₃ 5,5
Распаханная залежь	Mcp	2,11	3,96	1,0	2,30	3,8	-
	Cv, %	7,4	2,8	28,6	22,3	24,6	-
	t _{факт}	t ₂₋₃ 5,7	t ₂₋₃ 0,5	t ₂₋₃ 2,7	t ₂₋₃ 2,0	t ₂₋₃ 1,4	-

Условная оценка продуктивности пашни, введенной в оборот после залежного состояния, свидетельствует о колебаниях урожайности биомассы зерновых культур (пшеницы, овса) и об интенсивном развитии сорной растительности на паровых полях (3 год укоса), особенно при более высоких запасах влаги в Ачинско-Боготольской лесостепи. Участки пашни при паровании были плохо обработаны, не проводилась борьба с сорняками, о чем свидетельствует высокая доля сорного компонента в структуре фитомассы, особенно в конце вегетации.

Исследования показали, что самое высокое содержание гумуса, общего азота (табл. 3), обменных оснований, а также максимальная степень насыщенности основаниями характерна для почв чистой залежи, что подтверждается статистически. При введении залежи в пашню происходит достоверное снижение количества гумуса, общего азота, суммы обменных оснований и расширение отношения углерода к азоту. По показателям потенциального плодородия почвы сенокосов занимают промежуточное положение. Содержание нитратного и аммонийного азота в большей степени зависят от характера повторного использования залежи, а не от района исследований, что говорит о существенном влиянии резкой смены экологических условий при агрогенных воздействиях на основные показатели плодородия почв.

Установлены более тесные корреляционные зависимости запасов фитомассы чистых залежей с показателями потенциального и эффективного плодородия серых почв Ачинско-Боготольской лесостепи в условиях их лучшего увлажнения (табл. 3). Здесь отмечается сильная зависимость продуктивности фитомассы чистой залежи и сенокоса с содержанием в почве нитратной формы азота. Высокие величины коэффициентов корреляции получены между запасами фитомассы и основными показателями эффективного плодородия почв. Как следует из таблицы 3, эти коэффициенты составляют: 0,81 с нитратным азотом, 0,75 – с подвижным фосфором и 0,9 – с обменным калием. Следовательно, продуктивность чистой залежи и сенокоса определяется в большей степени этими агрохимическими показателями. Более благоприятные гидротермические условия, оптимальные водно-физические свойства (запасы почвенной влаги, плотность сложения, структурное состояние) усиливают тесноту связи продуктивности и свойств серых почв залежей Ачинско-Боготольской лесостепи. Здесь ярче выражена биогенная аккумуляция, интенсивнее протекает дерновый процесс с одновременным проявлением слабых элювиально-глеевых явлений. Зафиксировано большее число

случаев тесной корреляционной зависимости запасов фитомассы с показателями плодородия почв в период максимального развития травостоя (1 укос).

Таблица 3

Корреляционная зависимость (r) запасов надземной фитомассы и свойств (Mcp) серых почв залежей

Объекты	Гумус, %		Общий азот, %		Элементы питания, мг/кг почвы							
					N-NO ₃		N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Mcp	r	Mcp	r	Mcp	r	Mcp	r	Mcp	r	Mcp	r
Красноярская лесостепь												
Чистая залежь	6,6	-0,67	0,31	-0,8	9,0	-0,22	8,4	-0,69	157	0,64	181	0,43
Сенокос на залежи	5,3	0,67	0,24	0,63	1,9	0,09	6,1	0,13	148	0,78	171	0,77
Распаханная залежь	4,3	-0,7	0,19	-0,28	12,0	0,62	11,4	0,16	308	0,06	197	-0,94
Ачинско-Боготольской лесостепь												
Чистая залежь	8,1	0,89	0,45	0,85	4,1	0,94	6,2	0,34	107	0,42	168	0,48
Сенокос на залежи	5,1	-0,36	0,24	-0,41	2,9	0,83	5,2	0,1	157	0,85	105	0,88
Распаханная залежь	3,7	0,65	0,17	0,54	16,9	0,65	12,9	0,42	85	0,18	133	-0,06

На распаханной залежи при активизации процессов минерализации, особенно в первые годы освоения, в обоих районах исследования получена достаточно тесная корреляционная связь с содержанием в почве нитратного азота. Характерны более высокие коэффициенты парной корреляции между запасами фитомассы с содержанием гумуса и общего азота на сенокосе Красноярской лесостепи, что связано с более низкой обеспеченностью этой почвы нитратным азотом в условиях недостаточного увлажнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по запасам надземной травянистой фитомассы максимальная продуктивность характерна для чистых залежей лесостепной зоны Красноярского края. В структуре их травостоя преобладает разнотравный компонент, по сравнению со злаковым, при очень малой доле бобовых и рудеральных видов. Максимальные запасы надземной травянистой фитомассы получены на залежи в Ачинско-Боготольской лесостепи, где отмечается более высокая влагообеспеченность зоны и сильнее выраженный микрорельеф почвы, способствующий большему накоплению влаги и увеличению развития травостоя.

На залежах, используемых под сенокосы, разнотравные виды вытесняются злаковыми, что свидетельствует о более сильном проявлении здесь дерновинной стадии сукцессии. Для распаханых залежей в условиях низкой культуры земледелия характерно снижение продуктивности, увеличение доли сорного компонента и усиление корреляционной зависимости запасов фитомассы от содержания в почве нитратного азота. Наиболее тесные корреляционные зависимости между свойствами почв, а также между свойствами почв и запасами фитомассы проявляются на залежи Ачинско-Боготольской лесостепи, где сильнее выражены процессы биогенной аккумуляции и установлено наличие дернового процесса.

Теснота связи между продуктивностью залежей и свойствами серых почв выше в Ачинско-Боготольской лесостепи, что определяется более высокими запасами продуктивной влаги. Введение залежи в пашню и использование под сенокос снижает тесноту корреляции надземной фитомассы с показателями потенциального плодородия и усиливает связь с эффективным плодородием. Наиболее ярко биогенная аккумуляция проявляется в обоих районах исследования на чистых залежах. По комплексной оценке плодородия почвы и продуктивности биоценозов оптимальными показателями характеризуются чистые залежи обоих районов исследования. В Ачинско-Боготольской лесостепи залежи характеризуются более высоким плодородием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова О.А. Динамика растительности и свойств почв на молодых залежах Тамбовской равнины и Замландского полуострова. Калининград, Изд-во КГТУ, 2005. 315 с.
2. Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах (по материалам СССР) // *Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах*. Л.: Наука, 1971. С. 5-31.
3. Воронов А.Г. Биогеография с основами экологии. М.: Изд-во МГУ, 1987. 260 с.
4. Ковалева Ю.П. Структура и динамика запасов растительного вещества в залежных экосистемах степной зоны, находящихся на различных стадиях восстановления // *Природная и антропогенная динамика наземных экосистем*: Матер. Всерос. конф. (Иркутск, 11-15 октября 2005 г). Иркутск: Изд-во Иркутского технического университета, 2005. С. 326-329.
5. Косяненко Л.П. Луговое кормопроизводство Сибири. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2005. 244 с.
6. Кудеяров В.Н. Роль почв в круговороте углерода // *Почвоведение*. 2005. №8. С. 915-923.
7. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Нефедова Т.Г., Денисенко Е.А. Закономерности вывода из оборота сельскохозяйственных земель России и мире и процессы постагрогенного развития залежей // *Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота*. М., 2008. С. 45-71.
8. Титлянова А.А., Косых Н.П. Изменение растительного покрова и первичной продукции в Южной Сибири за последние 150 лет. // *Проблемы региональной экологии*: Матер. Второй Всерос. конф. (Томск, февраль 2000). Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2000. С. 46-47.

Поступила в редакцию 02.11.2018

Принята 03.12.2018

Опубликована 05.12.2018

Сведения об авторе:

Сорокина Ольга Анатольевна – профессор, доктор биологических наук, кафедра почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ (Красноярск, Россия); geos0412@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ESTIMATION OF PHYTOMASS STOCK AND GRAY SOIL FERTILITY OF ABANDONED LAND

© 2018 O.A. Sorokina

Address: Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira str., 90, Krasnoyarsk city, 660049, Russia.

Email: geos0412@mail.ru

Aim of the study. To assess phytomass structure and production, as well as gray soil (*Greyzemic Phaeozems (Aric)*) fertility of abandoned arable land under different land use in the forest-steppe.

Location and time of the study. The study was carried out at three sites: 1) abandoned arable land under natural revegetation, 2) abandoned arable land used for haymaking and 3) abandoned arable land once more ploughed for grain crops production) in the Krasnoyarsk and Achinsk-Bogotol forest-steppe of the Krasnoyarsk Krai (Russia) from 2011 to 2016.

Methodology. In all key study sites the general structure of aboveground phytomass and fertility indicators of gray soils were determined. The data were analyzed statistically, and the differences and correlation coefficients were considered statistically significant at $P \leq 0.05$.

Main results. Revegetation succession of the abandoned arable land in the forest- steppe zone displayed transition from the rhizome to the bunch stage. The vegetation of the Krasnoyarsk forest-steppe abandoned site was represented by the phytocenosis of grasses and forbs with 30% of ruderal species. The flora of the Achinsk-Bogotol forest-steppe abandoned site had greater plant species richness with increased contribution of legumes and 30% of ruderals. Plant species richness at both study sites depended on water regime. The productive soil water content at the the Achinsk-Bogotol site was significantly higher than at the Krasnoyarsk site. The use of abandoned land for haymaking was found to accelerate the bunch stage of vegetation succession, substituting herbs and grasses by grasses and forbs due to soil compaction because of

haymaking. The above-ground phytomass of the abandoned, but once more used for grain crop production, being dominated by the respective crops (oats and wheat), had an increased contribution of herbs and grasses due to ruderal species.

The total aboveground phytomass stocks were estimated to be maximal ($P \leq 0.05$) at the abandoned sites under natural revegetation in both regions. The site cropped to oats was an exception, as oats increased its aboveground phytomass during the growing season, resulting in the drastic increase from the summer to the autumn sampling dates. Due to their optimal soil water regime, the abandoned sites in the Achinsk-Bogotol forest-steppe were more productive, while the sites under haymaking were less productive and practically similar in both regions.

Intensive biogenic accumulation was found to be characteristic for the abandoned arable lands. However, the renewed arable use was shown to decrease significantly soil potential fertility. The actual soil fertility, as judged by the nitrate and ammonium nitrogen content, was shown to depend on land use, as ploughing increases soil organic matter mineralization and hence soil nitrate and ammonium content. The closer positive correlation between the aboveground phytomass and soil actual and potential fertility indicators in the Achinsk-Bogotol forest-steppe was most likely resultant from the optimal soil water regime there.

Soil fertility of abandoned lands was shown to depend on their subsequent land use. Natural revegetation significantly improved soil agrochemical properties and biogenic indicators.

Conclusion. The maximal aboveground phytomass was found to develop under natural revegetation during transition from rhizome to bunch stage of vegetation succession, which leads to biogenic accumulation and hence increased soil fertility. Grasses and herbs dominate in the aboveground phytomass. Haymaking at the abandoned revegetating sites results in decreased phytomass production and increased contribution of grasses, which accelerates successional changes towards the bunch stage and decreases soil fertility. The renewed use of the abandoned land for grain crop production decreases phytomass production and biogenic accumulation.

Keywords: abandoned land; forest-steppe; revegetation; haymaking; arable land; Greyzemic Phaeozems (Aric); soil moisture; aboveground phytomass; gray soils; soil fertility; biogenic indicators; correlation analysis

Citation: Sorokina O.A. Estimation of phytomass stock and gray soil fertility of abandoned land // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(3): 170 - 179. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Antsiferova O.A. Vegetation dynamics and soil properties at young abandoned lands of the Tambov Plain and Zamlan Peninsula. Kaliningrad: KSTU Publishing House, 2005. 315 p. (in Russian)
2. Bazilevich N.I., Rodin L.E. Productivity and turnover of elements in natural and cultural phytocenoses (according to the USSR data). In book: *Biological productivity and turnover of chemical elements in plant communities*. Leningrad: Nauka Pbs., 1971, p. 5-31. (in Russian)
3. Voronov A.G. Biogeography with the basics of ecology. M: Moscow State University Pubs., 1987. 260 p. (in Russian)
4. Kovaleva Yu. P. The structure and dynamics of plant matter stocks in the abandoned ecosystems of the steppe zone at different stages of revegetation, In book: *Natural and anthropogenic dynamics of terrestrial ecosystems: Proc.of the Russian. Conference (Irkutsk, October 11-15, 2005)*. Irkutsk: Publishing Irkutsk Technical University, 2005. p.326-329. (in Russian)
5. Kosyanenko L.P. Meadow forage production in Siberia. Krasnoyarsk: KrasGAU Pubs., 2005. 244 p. (in Russian)
6. Kudryarov V.N. The role of soil in carbon cycle, *Eurasian Soil Science*, 2005, №8, p. 808-815.
7. Luri D.I., S.V. Goryachkin, N.A. Karavaeva, T.G. Nefedova, E.A. Denisenko. Patterns of land withdrawal from the of agricultural turnover in Russia and the world and the processes of postagrogenic development of abandoned land. In book: *Agroecological status and prospects for the use of lands, withdrawn from active agricultural turnover in Russia*. Moscow, 2008. p. 45-71. (in Russian)
8. Titlyanova A.A., Kosykh N.P. Changes in land cover and primary production in South Siberia over the past 150 years. In book: *Problems of Regional Ecology: Proc.of the All-Russian Conference (Tomsk, 2000)*. Novosibirsk: SB RAS Pbs. 2000. P. 46-47. (in Russian)

Received 02 November 2018
Accepted 03 December 2018
Published 05 December 2018

About the author:

Sorokina Olga A. – Professor, Doctor of Biol. Sci., Department of Soil Science and Agrochemistry of Krasnoyarsk State Agrarian University (Krasnoyarsk, Russia); geos0412@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ИЗМЕРЕНИЕ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ ПОЧВЕННОГО РАСТВОРА КРИОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ЕГО МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

© 2018 Р.И. Зайцева, А.С. Фрид

Адрес: ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжжевский перулок, 7, стр.2, г.Москва, 109017, Россия. E-mail: elrish@yandex.ru

Проанализированы результаты измерений осмотического давления почвенного раствора (ОР) криоскопическим методом в специальном опыте с повторениями для 9 уровней засоления. По результатам статистического анализа выявлено закономерное изменение относительного среднеквадратического отклонения (V , %) от медианных значений величины ОР. Получена зависимость V , % и относительного допустимого расхождения $Д_{отн}$, % от величины ОР. Диапазон V , % от 2 до 50 %, диапазон $Д_{отн}$ от 5 до 100 % при ОР от 1 до 15 атм. Построены соответствующие метрологические шкалы как характеристики методики измерений. Измерения проводили на образцах из горизонтов А1 чернозема типичного тяжелосуглинистого (Курская обл.) и светло-каштановых среднесуглинистой и супесчаной почв (Волгоградская обл.) с повторениями. Уровни по засолению (9 уровней) задавали по концентрации вносимых в навески почв растворов NaCl и Na₂SO₄. Точку начала замерзания находили по термометру Бекмана.

Ключевые слова: почва; засоление; осмотическое давление почвенного раствора; криоскопия; метрологическая характеристика

Цитирование: Зайцева Р.И., Фрид А.С. Измерение осмотического давления почвенного раствора криоскопическим методом и его метрологическая характеристика // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.180–186.

ВВЕДЕНИЕ

В метрологии измерительные задачи заключаются в определении значений физических величин путем их измерения с требуемой точностью. Метрологическая оценка методик почвенно-агрохимического анализа, понятия и термины метрологических характеристик рассмотрены в специальных статьях и методических рекомендациях (Внутрилабораторный контроль, 1984). Обосновано построение количественных шкал показателей почвенного плодородия (почвенных признаков), даны примеры и методика их расчета по результатам статистического анализа опытных данных определений (Фрид, Большаков, 1988). Имеется опыт международного анализа почвенных и растительных образцов с рассмотрением для них метрологических характеристик. На основе анализа рассмотрена зависимость, связывающая воспроизводимость с уровнем анализируемых концентраций (Фрид, 2006). Метрологическая характеристика методик измерения признака является объективным основанием построения шкал количественных признаков (Фрид, Большаков, 1988). Основными метрологическими характеристиками методики измерения являются правильность и воспроизводимость. Правильность отражает близость к нулю неслучайных методических погрешностей, воспроизводимость характеризуется среднеквадратическим отклонением – STO (Внутрилабораторный контроль, 1984). В процессе статистического анализа метрологическая характеристика при вероятности 95% определяется через относительное (или абсолютное) допустимое расхождение по формуле $Д_{отн} = 2,8 V$, % ($Д_{абс} = 2,8 \cdot STO$), где V , % – относительное среднеквадратическое отклонение (коэффициент вариации), а $Д_{отн}$ – это расхождение между двумя повторными определениями и служит для метрологического контроля.

Существуют метрологические характеристики результатов измерений по многим методикам почвенно-агрохимических анализов. Однако, до настоящего времени метрологические характеристики для измерения осмотического давления почвенного раствора (ОР) отсутствуют. Осмотическое давление почвенного раствора обусловлено совокупностью всех содержащихся в нем растворенных веществ (Толковый словарь..., 1972). В засоленной почве осмотические силы определяют энергетическое состояние почвенного раствора, поглощение воды и элементов питания возделываемыми культурами. Криоскопический метод определения потенциала (давления) влаги основан на термодинамической зависимости между величиной потенциала и понижением температуры начала замерзания почвенного раствора (Воронин, Скалабан, 1973).

Цель работы состояла в том, чтобы получить метрологическую характеристику для измерений ОР методом криоскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Криоскопические измерения. С целью получить метрологические характеристики измерений ОР методом криоскопии был проведен специальный лабораторный опыт (эксперимент). Были взяты образцы из горизонтов А1 чернозема типичного тяжелосуглинистого (Курская обл.) и светло-каштановых среднесуглинистой и супесчаной почв (Волгоградская обл.). Содержание физической глины в почвах составляло 47, 42 и 20 %, солей не более 0,03 %, гумуса 6,0; 1,5 и 0,6 % и величина МГ равна – 9,4; 8,3 и 3,5 %. К навескам приливали растворы NaCl в концентрациях 0,05, 0,10, 0,15, 0,20, 0,25, 0,30 экв/л и Na₂SO₄ – 0, 50 и 0,85 экв/л; в бессолевых вариантах использовали дистиллированную H₂O. Влажность почвы, в зависимости от ее гранулометрического состава задавали равной 28, 23 и 15 %. Уровни засоления связаны с надежностью метода в интервале потенциала влаги -100 – -2000 дж/кг и с опытными данными, полученными ранее (Зайцева, 2009). Подготовленные навески по 30 г помещали в сосуды Дьюара объемом 40 мл с вакуумом 10⁻⁴ – 10⁻⁵ мм ртутного столба, сделав углубление по центру для термометра, оставляли на ночь перед измерениями в холодильнике при температуре -5° – -26°С. Охлаждающая смесь в сосуде Дьюара на 0,8 л или 1,0 л состояла из 5 частей толченого льда и одной части поваренной соли. Ее температуру поддерживали в рабочем интервале -21° – -17° С. В большой сосуд поочередно погружали сосуды со вставленным термометром Бекмана и следили по шкале за снижением температуры почвы (или воды) в процессе ее охлаждения. Замерзание почвенных растворов и чистой воды во всех измерениях шло с переохлаждением, и в момент начала кристаллизации при выделении тепла наблюдался скачок температуры и затем на некоторое время ее стабилизация с дальнейшим снижением при затвердевании почвы. Скачок t° С с остановкой мениска ртути в момент кристаллизации воды всегда был четким.

Определение ОР сводится к определению разности температур ΔT замерзания чистой воды и почвенного раствора. Величину осмотического давления в атмосферах (-ОР, атм.) вычисляли по формуле:

$$OP_{атм.} = \frac{L \times \Delta T}{T_0 V}$$

где L – удельная теплота (затвердевание) воды 79,7 кал/г, что в эквивалентном выражении составляет 3,292 литра-атмосфера/г; T₀ – абсолютная температура замерзания чистой воды -273,1°, ΔT = T - T₀, где T – температура начала замерзания почвенного раствора; V – объем 1 г воды в 1 л при 0°С.

Лабораторный криоскоп, в котором измеряли температуру замерзания воды и почвенных растворов изображен на рисунке 1.



Рисунок 1. Термометр Бекмана

В качестве примера приводим кривую замерзания H_2O (рис.2) и две кривые замерзания почвенных растворов в образцах чернозема, увлажненных растворами NaCl с концентрацией (С) 0.15 экв/л (кривая I) и 0.30 экв/л (кривая II) при влажности около 28 % (рис.3).

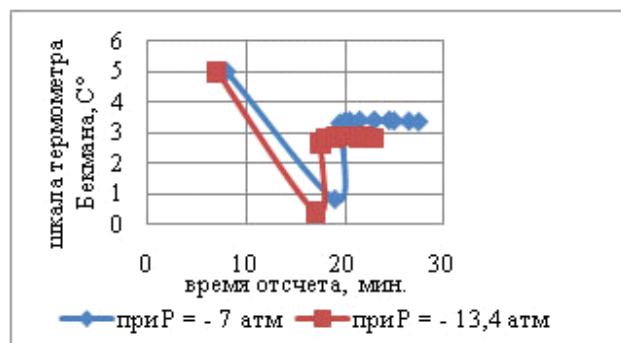
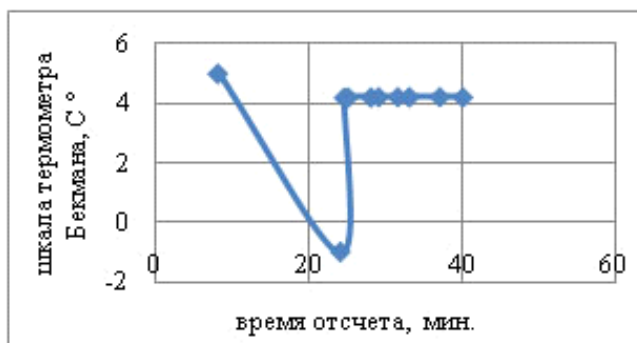


Рисунок 2. Кривая переохлаждения и замерзания дистиллированной воды.

Рисунок 3. Кривые замерзания влаги с переохлаждением в черноземе засоленном NaCl. I – при $P = -7$ атм. и II – $P = -13,4$ атм. Влажность почвы (W) = 27,5% (I) и 28,1% (II).

Кривые по форме однотипны. Левые отрезки показывают на снижение температуры переохлажденных растворов и воды, правые – на быстрый подъем ртутного мениска при выделении теплоты кристаллизации. Остановке мениска соответствуют температуры 3,98 °C (T_0 , H_2O); 3,40 °C (образец I) и 2,87 °C (образец II). Разность между минимальной температурой перед скачком и в начале в точке замерзания определяется как степень переохлаждения почво-грунта (Боженова, 1954).

Горизонтальный отрезок обусловлен выделяющейся теплотой, которая компенсирует падение температуры (Т). Понижение температуры (ΔT) начала замерзания составило -0,58 °C для кривой I и -1,11 °C для кривой II. Им соответствуют величины осмотического давления почвенных растворов (ОР), равные -7,0 и -13,4 атм. Понижение ΔT прямо пропорционально ОР. Переохлаждение воды по А.П. Боженовой (1954) определяется рядом факторов, главнейшими из них являются степень увлажнения и интенсивность охлаждения.

Планирование эксперимента. Постановка опыта с измерением осмотического давления почвенного раствора (ОР, атм.) при внесении солей следующая. Измерения проводили в партиях из 10 – 12 образцов. Для измерений составляли партии образцов из разных почв (три образца) и концентрации солей (9 разных концентраций) – всего 10 партий, позволивших провести от 2 до 5 повторных измерений. В отдельных партиях брали несколько одинаковых образцов, обеспечивая параллельные измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам статистического анализа получена зависимость относительного среднеквадратического отклонения (V%) от медианных величин ОР (рис. 4), которая аппроксимирована прямолинейной зависимостью в логарифмическом масштабе (рис. 5). Получено уравнение регрессии $\log V\% = 1,64 (\pm 0,7) - 1,11 (\pm 0,08) \log ОР$, в котором параметры находятся на уровне значимости 0,05. Далее проведены расчеты, необходимые для получения относительного допустимого расхождения и соответствующих шкал. Для заданных ОР по приведенному уравнению рассчитаны относительные среднеквадратические отклонения (V%). Далее для каждого значения ОР определено относительное допустимое расхождение $Дотн$, равное 2,8 V%.

Весь диапазон относительного среднеквадратического отклонения V от 2 до 50% и диапазон относительного допустимого расхождения $Дотн$ от 5 до 100% подразделен на интервалы с применением интерполяции и найдены соответствующие интервалы для ОР.

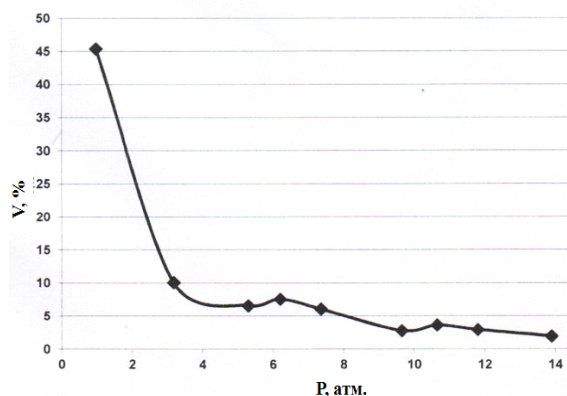


Рисунок 4. Зависимость относительного среднеквадратического отклонения (V) от осмотического давления почвенного раствора (OP медианное) в опыте с повторениями для 9 уровней концентраций вносимых растворов $NaCl$ и Na_2SO_4 .

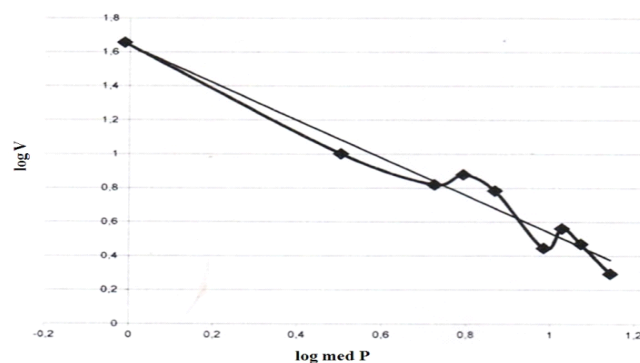


Рисунок 5. Зависимость $\log V$ от $\log OP$ (медианное) в опыте с повторениями для 9 уровней концентраций вносимых растворов $NaCl$ и Na_2SO_4 , ($\log V = 1,644 - 1,1097 \log OP$).

Полученные результаты представлены в таблице, а шкалы – дополнительно на рисунке 6.

Таблица

Статистические характеристики определения осмотического давления почвенного раствора в почве *in situ* в специальном опыте с повторениями для 9 уровней концентрации вносимых растворов солей $NaCl$ и Na_2SO_4

СТО (числитель) * Д _{абс} (знаменатель) (атм.)**	Интервал осмотического давления почвенного раствора ($P_{атм}$)	Коэффициент вариации (V), %	Интервал осмотического давления почвенного раствора ($P_{атм}$)	Относительное допустимое расхождение ($D_{отн}$), %	Интервал осмотического давления почвенного раствора ($P_{атм}$)
0.35 0.98	0.90 – 14.5	50	0.90–0.98	100	0.9–1.2
		40	0.98–1.3	80	1.2–1.7
		30***	1.3–1.7	60	1.7–2.2
		20	1.7–2.7	40	2.2–3.2
		10	2.7–3.7	30	3.2–4.2
		9	3.7–4.3	20	4.2–9.2
		8	4.3–4.7	10	9.2–10.2
		7	4.7–5.7	9	10.2–11.2
		6	5.7–6.5	8	11.2–12.5
		5	6.5–7.7	7	12.5–14.2
		4	7.7–9.7	5	14.2–14.5
		3	9.7–13.2		
2	13.2–14.5				
коэффициент детерминации (КД)		0.96			

Примечание:

* СТО – среднеквадратическое отклонение;

** Д_{абс} – абсолютное допустимое расхождение.

*** относительное среднеквадратическое отклонение (коэффициент вариации)



Рисунок 6. Зависимость относительного допустимого расхождения $D_{отн}$, % от осмотического давления почвенного раствора - OP , атм.

Если принять значение относительного среднеквадратического отклонения (коэффициента вариации) V , равное 30%, как границу между количественными и полуколичественными оценками, то ему будет соответствовать значение относительного допустимого расхождения $D_{отн}$, равное 84%. Данные таблицы показывают, что в полуколичественную область по воспроизводимости попадают измерения осмотического давления почвенных растворов в незасоленных оптимально увлажненных почвах. Шкала может быть использована для оценки воспроизводимости опытных измерений осмотического давления почвенного раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Внутривлабораторный контроль воспроизводимости результатов анализа почвенно-агрохимических объектов. Методические рекомендации / Сост.: Большаков В.А. в соавт., Почвенный институт им. В.В. Докучаева. ВАСХНИЛ. 1984. 24 с.
2. Фрид А.С., Большаков В.А. О метрологическом обосновании количественных шкал почвенных признаков // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*, 1988. № 42. С. 42 – 44.
3. Фрид А.С. Международный анализ почвенных и растительных образцов. Международная метрологическая характеристика // *Агрохимия*. 2006. № 7. С. 49 – 62.
4. Толковый словарь по почвоведению. Физика. М: Наука, 1972. 61 с.
5. Воронин А.Д., Скалабан В.Д. К вопросу об измерении потенциала почвенной влаги криоскопическим методом // *Метеорология и гидрология*. 1973. № 9. С. 56 – 64.
6. Зайцева Р. И., Желнакова Л. И., Никитина Н. С., Скалабан В. Д. Характеристика солеустойчивости кормовых культур в начальной фазе вегетации при засолении чернозёма хлоридом натрия // *Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева*. 2009. № 63. С. 25 – 40.
7. Боженова А.П. Инструктивные указания по лабораторному методу определения температуры переохлаждения и начала замерзания грунтов // *Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов*. Сб. 2. Изд-во АН СССР. М. 1954. С. 16–31.

Поступила в редакцию 15.11.2018

Принята 03.12.2018

Опубликована 05.12.2018

Сведения об авторах:

Зайцева Руфина Игоревна – кандидат сельскохозяйственных наук, специалист отдела физики, гидрологии и эрозии почв Почвенного Института им. В.В. Докучаева (Москва, Россия); elrish@yandex.ru

Фрид Александр Соломонович – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела биологии и биохимии почв Почвенного Института им. В.В. Докучаева (Москва, Россия); asfrid@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

SOIL SOLUTION OSMOTIC PRESSURE MEASUREMENT BY CRYOSCOPIC TECHNIQUE AND ITS METROLOGICAL CHARACTERIZATION

© 2018 R.I. Zaitseva, A.S. Frid

Address: V.V. Dokuchaev Soil Institute, Pyzhevskiy pereulok 7, Moscow, 109017, Russia.

E-mail: elrish@yandex.ru

Cryoscopic technique to measure soil solution osmotic pressure is based on the thermodynamic relationship between chemical potential (pressure) and decreasing of the soil solution freezing temperature. The pressure is determined on the basis of the freezing temperature difference between distilled water and soil solution.

To characterize metrologically soil solution osmotic pressure (OP) measurements by cryoscopic method a laboratory experiment was carried out with several different soil samples, collected from the A horizon of the typical heavy-clay chernozem (Kursk region, Russia, and light-colored clay and sandy chestnut soils (Volgograd region, Russia). Sodium chloride solution was added to soil aliquots at 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 eq/L, while Na₂SO₄ solution was added at 0.50 0.85 eq/L. Distilled water was added to the control variants. Depending on the granulometric composition of soils, soil water content was adjusted to 28, 23 and 15%. The samples prepared in such a way were placed in 40-ml Dewar vacuum flasks with 10⁻⁴-10⁻⁵ mm Hg of vacuum. The cryoscope measured temperature according to the Beckman thermometer scale.

The temperature of the cooling mixture of crushed ice and NaCl (1:5 v/v) in Dewar flasks was maintained in the range of -21° -17° C. The freezing of soil solutions and distilled water went with overcooling. The temperature jump was indicated by clear Hg meniscus stop at the beginning of crystallization.

Statistical analysis of the data obtained produced correlations and corresponding scales of the relative standard deviation (V, %) and relative permissible deviation (Drel, %) of the measured OP values. The V was shown to range from 2 to 50%, while the Drel varied from 5 to 100% between 1 and 15 atm. The threshold between the quantitative and semiquantitative estimates when V=30% was found to lie between 1.3-1.7 atm. Based on the correlation between Drel values and the measured OP, a scale for estimating OP is suggested: when Drel is 100% the corresponding OP value is 0.9-1.2 atm, at 80% Drel 1.2-1.7, at 60% Drel 1.7-2.2, at 40% Drel 2.2-3.2, at 30% Drel 3.2-4.2, at 20% Drel 4.2-9.2, at 10% Drel 9.2-10.2 atm, whereas at 9% Drel the OP can be estimated as ranging 10.2-11.2 atm, while at 8% Drel as 11.2-12.5, at 7% Drel as 12.5-14.2 and at 5% Drel as 14.2-14.5 atm. The scale can be used to estimate the reproducibility of experimental measures of soil solution osmotic pressure.

Key words: soil; salinization; soil solution; osmotic pressure; cryoscopy; metrological characterization

How to cite: Zaitseva R.I., Frid A.S. Soil solution osmotic pressure measurement by cryoscopic technique and its metrological characterization // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(3): 180-186. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Intra-laboratory control of reproducibility of analytical data obtained for soil and agrochemical objects. Methodical recommendations. In book: *V.I. Lenin All-Union Academy of agricultural sciences V.V. Dokuchaev Soil Institute*. Moscow, 1984. (in Russian)
2. *Frid A.S., Bolshakov V.A.* The metrological basis of the quantitative scales for soil properties, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1988, V. 42, p.42-44 (in Russian)
3. *Frid A.S.* International Analysis of Soil and Plant Samples. Interlaboratory Metrological Characterization, *Agrochemistry*, 2006, Iss.7, p.49-62. (in Russian)
4. *The Explanatory Dictionary (of) Science of the earth's crust. Physics*. Moscow: Nauka Pbs., 1972. 61 p. (in Russian)
5. *Voronin A.D., Skalaban V.D.* About Measurement of Soil Moisture Potential by a cryoscopic method, *Meteorology and Hydrology*, 1973, Iss.9, p. 56-64. (in Russian)
6. *Zaitseva R.I., Zhelnakova L.I., Nikitina N.S., Skalaban V.D.* Characterization of fodder crops salt tolerance at the initially phase of the growth on chernozem with NaCl salinity, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2006, Iss.63, p.25-40. (in Russian)
7. *Bozhenova A.P.* The guidelines for the laboratory method to determine of ground overcooling and beginning of freezing. In book: *Laboratory Examination of freezing ground*. Moscow: AS RAS Pubs., 1954, p.16-31. (in Russian)

Received 15 November 2018

Accepted 03 December 2018

Published 05 December 2018

About the authors:

Zaitseva Rufina I. – Cand. of Agricult. Sci., Specialist in the Division of Soil Physics, Hydrology and Erosion of the V.V. Dokuchaev Soil Institute (Moscow, Russia); elrish@yandex.ru

Fried Alexander S. – Doctor of Agricult. Sci., main scientific employee in the Division of Soil Biology and Biochemistry of the V.V. Dokuchaev Soil Institute (Moscow, Russia); asfrid@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

УДК 631.4
doi: 10.31251/pos.v1i3.35

ГОЛЬЕВА АЛЕКСАНДРА АМУРИЕВНА
(К 60-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

© 2018 Д.А. Гаврилов¹, Н.В. Климова², Лада Н.Ю.¹, Н.Ю. Сперанская³

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru

²ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический
проспект 10/3, г.Томск, 634055, Россия. E-mail: klimnin@sibmail.com

³ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, г.Барнаул, ул.Ленина 61,
656049, Россия. E-mail: speranskaj@mail.ru

В статье приведены основные сведения о научной деятельности замечательного ученого, доктора географических наук, ведущего научного сотрудника Института географии РАН (г.Москва), автора нового направления в морфогенезе почв и педолитоседиментов (микробиоморфология) - Гольевой Александре Амуриевне.

Ключевые слова: Гольева Александра Амуриевна; фитолиты; микробиоморфы; микробиоморфный анализ; микробиоморфология

Цитирование: Гаврилов Д.А., Климова Н.В., Лада Н.Ю., Соломонова М.В., Сперанская Н.Ю. Гольева Александра Амуриевна (к 60-летию со дня рождения) // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С.187 – 190.



11 октября 2018 г. почвоведу-географу, автору цикла работ по голоценовой эволюции почв, диагностике и характеристике антропогенного влияния на развитие почв в прошлом, председателю Российской ассоциации фитолитологов, члену Международного общества по фитолитным исследованиям Александре Амуриевне Гольевой исполнилось 60 лет со дня рождения.

Александра Амуриевна родилась 11 октября 1958 г. в г. Сыктывкаре (Республика Коми) в семье крупного почвовед-географа И. В. Забоевой. Закончив среднюю школу, она поступила на почвенный факультет Московского университета, после окончания которого продолжила обучение в аспирантуре у академика Г.В. Добровольского. Неоценимый вклад в подготовке молодого исследователя как специалиста внес С.А. Шоба, который выступал в качестве второго научного руководителя. Интерес Г.В. Добровольского и С.А. Шобы к фитолитам определил выбор темы кандидатской диссертации и дальнейший научный путь молодого исследователя.

В 1987 г. Александра Амуриевна в стенах родного вуза успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему «Опаловые биолиты подзолистых почв средней тайги», основные выводы которой приведены в препринте в соавторстве с С.А. Шобой и А.А. Бобровым (Гольева и др., 1987). Вскоре после этого она пришла в Отдел эволюции и географии почв Института географии РАН (г.Москва), где прошла путь от младшего до ведущего научного сотрудника.

Последующие годы напряженной научно-исследовательской работы были направлены на сбор фактологического материала для определения информационной роли микробиоморфов как одного из архивов о генезисе и эволюции почв. География ее исследований охватывает широкий спектр природных зон – от северной тайги до тропических широт Евразии и Северной Америки.

В 2006 г. Александра Амуриевна успешно защитила докторскую диссертацию «Микробиоморфные комплексы почвенно-ландшафтных систем: генезис, география, информационная роль», где она обосновывает выделение самостоятельного направления в анализе морфогенеза почв – микробиоморфологию. Методологической базой направления является микробиоморфный анализ, основанный на качественной и количественной характеристике микроскопических остатков растений (фитолитов, детрит, диатомовые водоросли, микроугольки и

т.д.) и животных (раковины, амебы, спикулы губок и т.д.). В рамках этого метода автор особое внимание уделяет фитолитам и их качественному и количественному распределению по профилю почвы, что позволяет оценить нарушенность почвенного профиля и проследить изменения растительного покрова на всем протяжении формирования почвы. В научный оборот ею были введены такие понятия как «микробиоморфный профиль» и «фитолитный профили», «микробиоморфный комплекс почв и седиментов».

В связи с ростом антропогенной нагрузки на почву важное практическое значение приобретает полученный вывод юбиляра о широком распространении влияния деятельности человека на развитие почв в прошлом (Гольева, 2001, 2008а, 2008б).

Научные интересы Александры Амуриевны выходят далеко за пределы почвоведения и охватывают вопросы эволюции ландшафтов и археологии. Результатом совместных работ с археологами стало создание ряда совместных монографий (Моргунова и др., 2004; Щербаков и др., 2017).

Александра Амуриевна уделяет много внимание подготовке молодых специалистов и всегда открыта для передачи своего опыта младшим коллегам. Её учеников можно встретить не только в разных уголках нашей страны (Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Томске, Барнауле, Красноярске и т.д.), но и за ее пределами (Венгрии и Мексике). Александра Амуриевна дала путевку в науку многим молодым людям, выступала экспертом и официальным оппонентом по кандидатским и докторским диссертационным работам. Её учениками считают себя и те, кто просто заходит к ней за советом или консультацией.

Юбиляр ведет активную научно-организационную работу. Так, в 2004 г. под её руководством было организовано V Международное совещание по фитолитным исследованиям в Москве (V International Meeting of Phytolith Researchers), первое совещание фитолитологов России в г. Новосибирске в 2016 г., где она была избрана Председателем Российского общества фитолитологов и официальным представителем от России в Международном фитолитном обществе (The International Phytolith Society).

По результатам своих работ Александра Амуриевна опубликовала около 200 печатных работ, в том числе ряд монографий, которые стали настольными книгами для тех, кто занимается микробиоморфным анализом.

В дни юбилея друзья, товарищи и ученики желают Александре Амуриевне новых научных свершений, неиссякаемой творческой энергии и крепкого здоровья!

Данная статья написана учениками и последователями идей Александры Амуриевны.

ЛИТЕРАТУРА

13. Гольева А.А. Опаловые биолиты подзолистых почв средней тайги. Автореф. дисс. к.б.н. М., 1987. 22 с.
14. Гольева А.А., Бобров А.А., Шоба С.А. Аккумуляция биогенного кремнезема в биогеоценозах средней тайги // Серия препринтов «Научные доклады». 1987. Вып. 168. (23).
15. Гольева А.А. Микробиоморфные комплексы почвенно-ландшафтных систем: генезис, география, информационная роль. Автореф. дисс. д.г.н. М., 2006. 48 с.
16. Гольева А.А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.–Сыктывкар–Элиста, 2001. 140 с.
17. Гольева А.А. Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: генезис, география, информационная роль. М.: УРСС, 2008а. 256 с.
18. Гольева А.А. Микробиоморфная память почв // *Память почв (Почва как память биосферно-геосферно-антросферных взаимодействий)*. Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: ЛКИ. 2008б. С. 500-530.
19. Моргунова Н.Л., Гольева А.А., Евгеньев А.А. и др. Боголюбовский курганный могильник срубной культуры в Оренбургской области. Оренбург: ОГПУ, 2004. 172 с.
20. Щербаков Н.Б., Шутелева И.А., Гольева А.А. и др. Казбуруновский археологический микрорайон позднего бронзового века Южного Приуралья. Результаты естественнонаучных исследований. Уфа: Инеш, 2017. 194 с.

Поступила в редакцию 30.10.2018;
принята 31.10.2018, опубликована 30.11.2018

Сведения об авторах:

Гаврилов Денис Александрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г.Новосибирск, Россия), gavrilov@issa-siberia.ru

Климова Нина Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г.Томск, Россия), klimnin@sibmail.com

Лада Наталья Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г.Новосибирск, Россия), lada@issa-siberia.ru

Сперанская Наталья Юрьевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники ФГБОУ ВО Алтайского государственного университета (г. Барнаул, Россия), speranskaj@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

GOLYEVA ALEXANDRA CELEBRATES HER 60TH ANNIVERSARY!

© 2018 D.A. Gavrilov¹, N.V. Klimova², M. Yu. Solomonova³, N.Yu. Speranskaya³

Address: ¹*Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation. E-mail: gavrilov@issa-siberia.ru*

²*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation. Email: klimnin@sibmail.com*

³*Altai State University, Barnaul, Russian Federation. Email: speranskaj@mail.ru*

The article provides basic information about Alexandra Golyeva, Doctor of Geographical Sciences, the leading researcher at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Moscow), the remarkable scientist, who is the initiator and driving force of a new direction in soil morphogenesis and pedolithosedimentation (microbiomorphology).

Key words: *Golyeva Alexandra; phytoliths; microbiomorphs; microbiomorph analyzis; microbiomorphology*

How to cite: *Gavrilov D.A., Klimova N.V., Lada N.Yu., Solomonova M.Yu., Speranskaya N.Yu. Golyeva Alexandra celebrates 60th anniversary! // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(3): 187 - 190. (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Golyeva A.A. Opal bioliths in podzolic soils of middle taiga, *Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. in Biology. Moscow, 1987, 22 p.* (in Russian)
2. Golyeva A.A., Bobrov A.A., Shoba S.A. Accumulation of biogenic silica in biogeocenoses of middle taiga, *Preprint «Scientific Reports», 1987, Issue 168, No23.* (in Russian)
3. Goyeva A.A. Microbiomorphic complexes of soil-landscape systems: genesis, geography, informational role *Abstract of Dissertation ... Doctor of Geography. Moscow, 2006. 48 p.* (in Russian)
4. Golyeva A.A. Phytoliths and their Information role for Natural and Archeological Study. Moscow–Syktyvkar–Elista, 2001, 140 p. (in Russian)
5. Golyeva A.A. Microbiomorphic Analysis as a Tool for Natural and Anthropogenic Landscape Investigations: Genesis, Geography, Information. Moscow, URSS Publisher, 2008a. 256 p. (in Russian with English Summary)
6. Golyeva A.A. Microbiomorphic Soil Memory // *Soil memory: Soil as a memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere interactions.* Eds.: V.O. Targulian, S.V. Gotaychkin Eds. Moscow, LKI Publisher, 2008b, pp. 500-530. (in Russina)
7. Morgynova N.L., Golyeva A.A., Evgeniev A.A., and et al. Bogolyubov kurgan horrown of Srub Culture in the Orenburg Region. Orenburg, OGPU Publisher, 2004, 172 p. (in Russian)
8. Sherbakov N.B., Shuteleva I.A., Goyleva A.A., and et al. Kazburonov Archeological District for Late Bronze Age in the South Ural. The results of natural science research. Ufa, Inesh Publisher, 2017, 194 p. (in Russian)

Received 30 October 2018

Accepted 31 October 2018

Published 30 November 2018

About the authors:

Gavrilov Denis A. - Cand. of Biol. Sci., Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gavrilov@issa-siberia.ru;

Klimova Nina V. - Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); klimnin@sibmail.com

Lada Natalia Yu. - Cand. of Biol. Sci., Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); lada@issa-siberia.ru;

Speranskaya Natalia Yu. – Cand. of Biol. Sci., Altai State University (Barnaul, Russia); speranskaj@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript

 The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)