

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2018

Том 1. Выпуск 1

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

Учредитель: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Адрес издателя и редакции: 630090, Россия, Новосибирская область, г.Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 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 Павлинович – 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 биогеоценологии 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, научный сотрудник ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Содержание

Мордкович В.Г.

От редколлегии

4

Эволюция почв и динамика экосистем

Коронатова Н.Г.

Изменение содержания групп органических соединений в результате деструкции верховых торфов

6

Физика и гидрология почв

Махатков И.Д., Ермолов Ю.В.

Пространственное варьирование температуры корнеобитаемого слоя почв северной тайги Западной Сибири

16

Плодородие почв и минеральное питание растений

Якименко В.Н.

Формы калия в почве и методы их определения

25

Гопп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В., Смирнов А.В.

Цифровое картографирование степени окультуренности пахотных почв Предсалаирской дренированной равнины

32

Юбилеи и памятные даты

Якименко В. Н.

Академику Г.П. Гамзикову – 80 лет!

45



ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Уважаемые коллеги, будущие авторы и читатели нашего журнала! Вашему вниманию предлагается современное информационное поле, где вы можете изложить конкретные результаты своей работы, сделать обзоры исследований по актуальным направлениям и проблемам почвоведения, предложить новые теоретические идеи и методические разработки. Допускается критическая переоценка залежалых истин. Приветствуются статьи, посвященные выдающимся почвоведом прошлого или действующим ученым в связи с юбилеями. Новое издание не претендует на роль альтернативы уважаемым журналам, представляющим классическую фундаментальную науку, а предлагает, не в ущерб модной ныне парадигме редукционизма, нацеленной на конкретные локальные значения особенностей почв, дать дорогу публикациям в духе холистического целостного подхода к почве как экосистеме высокого ранга.

Оправдательным и побудительным мотивом такого интереса к почве служит история почвоведения, прошедшего путь развития от утилитарного отношения к почве, как субстрату, главным свойством которого является плодородие, до восприятия почвы, как мегаэктона в системе оболочек биосферы, исполняющего уникальную функцию энергетического и материального депо биологического круговорота, генерирующего и регулирующего потоки вещества и энергии в биосфере и конкретных биогеоценозах.

Специфика любой науки наиболее кратко, а значит талантливо, отражена в дефинициях ее ключевых понятий. Подавляющее большинство определений почвы и императивов почвоведения в авторитетных руководствах содержат обязательные постулаты: а) почва субстрат, обладающий уникальным свойством плодородия; б) почва самостоятельное образование; в) почва уникальная многофазная система с преобладанием вещества твердой фазы; г) почва особый органо-минеральный комплекс, возникший в результате взаимодействия живой и неживой материи; д) почва консервативное тело, наименее других в биосфере склонное к изменениям.

Рискнем проверить так ли уж незыблемы вышеобозначенные столпы почвенной науки? Самый старинный и потому почтенным императивом служит пресловутое свойство плодородия, приписываемое почве как «благородной ржавчине Земли». Между тем, логический анализ с общебиологических, а не сугубо почвенных позиций показывает, что плодородие, то есть способность родить плоды для пропитания человека, является функцией отнюдь не почвы, а все-таки биоты. Почва в этом деле всего лишь вспомогательное звено, наряду с другими оболочками биосферы. Почва поставщик минеральных элементов, но литосфера в еще большей мере. Генератором световой и тепловой энергии, безусловно необходимой для осуществления плодородия, служит космос; воды гидросфера и вторично атмосфера. Ну, а непосредственно производство первичной и вторичной биопродукции, в том числе плодоношение, осуществляют живые организмы. Вызывает сомнение непогрешимость постулата, обозначающего почву как самостоятельное образование. Признание почвы структурной частью биосферы (а куда денешься?) семантически исключает самостоятельность, ибо в основе понятия «биосфера» лежит свойство комплементарности, то есть взаимодополнения частей в составе целого! Система оболочек биосферы представляет собой радиальный континуум, на всем протяжении которого невозможно выделить ни одной линейной границы. Субстраты всех оболочек плавно, густо, цепко, насквозь пронизывают друг друга. Это относится как к абиотическому, так и к живому компонентам. Высшие растения одновременно размещают свои различные органы в атмо-, гидро-, а нередко и литосфере. Часть онтогенеза насекомых проходит в почве, а другие его фазы либо в атмосфере, либо в гидросфере. Почвенная микрофауна (ногочвостки, клещи) по сути представляет собой обитателей почвенных скважин, то есть анклавов атмосферы в почвенной толще. То же относится к грызунам и другим норным животным. Нематоды, коловратки, протисты, проживая активную стадию онтогенеза в почвенных капиллярах, заполненных водой, вправе именоваться не «педо», а гидробионтами. Постулат: почва многофазная система, но при этом твердое тело, тоже не без греха. Увы, многофазность явление присущее не только почве, а любому ярусу биосферы. В атмосфере значительную часть ее объема и массы кроме газообразного вещества составляют вода, твердые частицы в виде пыли, а также биота в виде перелетных птиц, насекомых, пыльцы растений и др., которые в периоды массового размножения заполняют пространство атмосферы своими телами на 80–90%. То же самое происходит в гидросфере. Отнесение почвы к разряду

твердых тел выглядит неубедительно. Во многих типах почв доля полостей (порозность) достигает 60–80% общего объема почвы. В луговых почвах доля воздушной фазы 15–20%, жидкой не менее 10–20%, хотя бы временно, а биомасса в ряде случаев составляет 70% общего объема почвы. Признание почвы уникальным органо-минеральным субстратом еще более некорректно, ибо все обитаемые субстраты в биосфере представляют собой органо-минеральные смеси (воздух, подстилка). Наконец, постулат о консерватизме почвы сильно преувеличен по следующим причинам. Во-первых, почва очень массивный, громоздкий, хрупкий объект, поэтому удобней и проще изучать ее статичные, а не динамичные свойства; во-вторых, статичные свойства проще использовать для классификации почв. Важнейшим шагом к развитию «динамического почвоведения» стал дуалистический взгляд на почву, с одной стороны, как на синтезограф (почва-память), вобравший и запечатлевший навек ее долгую историю, а с другой как на почву-момент, отражающую одно из ее сиюминутных преходящих состояний. основополагающим императивом динамического почвоведения стало представление об элементарных почвенных процессах. Их перекомбинация обращает любую почву за обозримый для исследователя отрезок времени в то или иное состояние, адекватное изменению среды и экосистемы. Представление о системе элементарных почвенных процессов, сменяющих друг друга в рамках стереотипа, привело почвоведов в русло сукцессионной теории, дав возможность дополнить ее оригинальными почвенными аргументами. Теперь в формулу: «почва-момент почва-память» необходимо добавить третий элемент сукцессию почвы, поместив его в середину триады.

Вышеизложенные критические стрелы запущены не для эпатажа благонамеренной почвенной публики, а чтобы побудить исследователей рассматривать почву не как мавзолей непорочных истин, а как реактор, производящий и распределяющий потоки вещества и энергии в биосфере и конкретных биогеоценозах, поддерживая тем самым оптимальную структуру биоразнообразия и обеспечивая в ней подходящее место для человека.

Д.б.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ
В. Г. Мордкович

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГРУПП ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕСТРУКЦИИ ВЕРХОВЫХ ТОРФОВ**

© 2018 Н.Г. Коронатова

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

Различные группы органических соединений определены в гексан-хлороформном экстракте фускум-торфа и мочажинного торфа из Бакчарского болота, расположенного в пределах Томской области. Органические соединения определяли в исходных торфах, отобранных с глубины 40-60 см в повышенных (рям) и пониженных (топь) болотных ландшафтах, а также после их экспериментальной деструкции в течение 16 месяцев выше и ниже уровня болотных вод на глубинах 5-10 и 25-30 см в тех же болотных экосистемах, где они были взяты. Анализ экстрактивных веществ торфов осуществляли методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Суммарное содержание всех экстрактивных веществ было 309 мкг/г абс. сух. вещ. в мочажинном торфе и 281 мкг/г абс. сух. вещ. в фускум-торфе. После деструкции фускум-торфа общее содержание экстрактивных веществ увеличилось в два раза в аэробной зоне и незначительно уменьшилось в анаэробной зоне, а после деструкции мочажинного торфа уменьшилось почти в два раза на обеих глубинах. Эти изменения сопровождались относительным увеличением содержания цетана, а также некоторых алканов с чётным числом атомов углерода в молекуле, карбоновых кислот и С26-кетона (в аэробном слое залежи фускум-торфа), С25-кетона и алканов изопрениодного строения (в мочажинном торфе). В то же время наблюдалось относительное снижение содержания пальмитиновой кислоты и алканов изопрениодного строения (в анаэробной зоне фускум-торфа), некоторых алканов с нечётным количеством атомов углерода в молекуле, С29-кетона (в мочажинном торфе на обеих глубинах), а также С27-кетона (на глубине 25-30 см в мочажине). Эти результаты свидетельствуют о различных путях преобразования органической массы при деструкции в повышенных (рямы, гряды) и пониженных (топи, мочажины) болотных экосистемах.

Ключевые слова: верховое болото, группы органических соединений торфа, газовая хромато-масс-спектрометрия, деструкция торфа, Западная Сибирь

Цитирование: Коронатова Н.Г. Изменение содержания групп органических соединений в результате деструкции верховых торфов // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(1). С.6–15.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение состава органических соединений в верховых торфах важно и в теоретическом, и в практическом плане, что особенно актуально для западносибирского региона, который является наиболее заболоченной территорией мира с богатейшим запасом торфяных ресурсов. Наиболее подробно и глубоко состав экстрактивных компонентов торфов юга Западной Сибири исследован О.В. Серебренниковой с соавт. (2010, 2013, 2014а, б, в), М.А. Дучко с соавт. (2013), Е.Б. Стрельникова со соавт. (Strel'nikova et al, 2014), которые установили групповой состав и наиболее характерные индивидуальные соединения в зависимости от водного, водно-минерального режима питания болот, рН болотных вод, торфообразующей растительности, влияния осушения и пожаров.

Известно, что в ходе экспериментальной деструкции в естественных условиях может заметно уменьшаться масса торфа за небольшой отрезок времени (Коронатова, 2010; Коронатова, Шибарева, 2010). В австралийских горных верховых болотах S.P.P. Grover и J.A. Baldock (2010, 2012) изучали, как после года деструкции, которая сопровождалась снижением массы образцов, меняется соотношение углеводов к кислородсодержащим соединениям, а также содержание ароматических веществ в торфе. О.В. Серебренникова с соавт. (2015) проводили лабораторный эксперимент по микробному окислению низинного торфа для изучения влияния биодеструкции на молекулярный состав органического вещества торфа. Они обнаружили снижение суммарного содержания групп органических соединений, которое при этом сопровождалось увеличением концентрации некоторых индивидуальных соединений за счёт вклада микроорганизмов. В настоящее время, видимо, отсутствуют работы, которые исследуют изменение состава

органических веществ в результате деструкции торфа в естественных условиях болот Западной Сибири. Целью данного исследования выявить основные группы органических соединений и изменение их содержания в результате деструкции двух типов верховых западносибирских торфов в болотных экосистемах выше и ниже уровня болотных вод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были два вида верхового торфа фускум-торф и сфагновый мочажинный. Образцы были отобраны с глубины 40-60 см в верховых болотных экосистемах Бакчарского болота ($56^{\circ}51'$ с.ш., $82^{\circ}50'$ в.д.), которое расположено в пределах Томской области и относится к северо-восточным отрогам Большого Васюганского болота (рис.1). Фускум-торф был извлечён из залежи сосново-кустарничково-сфагнового болота (ряма), где водородный показатель болотных вод был 3,8, зольность торфа составила 2,4%, степень разложения 5-10%. Сфагновый мочажинный торф был отобран в примыкающей к рямю обводненной мочажине с пушицево-сфагновым сообществом с рН болотных вод 3,9; его зольность составила 1,4%, степень разложения 10-15%. Торф высушивали в сушильном шкафу при температуре 60°C , после чего часть помещали по 2 г в синтетические мешочки с размером ячеек 0,2-0,3 мм. В начале лета мешочки закладывали в те же экосистемы, где торф был отобран, выше и ниже уровня болотных вод на глубину 5-10 см и 25-30 см, а осенью следующего года, через 16 месяцев, их извлекали, взвешивали и высушивали. Детальное описание методики полевого эксперимента по изучению деструкции торфа в естественных условиях приведено в работе Н.Г. Коронатовой (2010).



Рисунок 1. Болотные экосистемы Бакчарского комплекса: А сосново-кустарничково-сфагновое болото (ряма); Б травяно-сфагновое болото (топь или мочажина).

Для определения состава битуминозных компонентов, высушенный торф измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1 и обрабатывали смесью хлороформа с гексаном (1:4 по объёму). Анализ экстрактивных веществ торфов осуществляли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Clarus 500 MS фирмы PerkinElmer с квадрупольным детектором. Идентификацию веществ проводили по относительным временам удерживания и по библиотеке масс-спектров, имеющейся в программном обеспечении к прибору, NIST, Wiley и Pflieger/Maurer/Weber. Концентрации веществ определяли по внутреннему стандарту аценафтен- d_{10} . Более подробно с методикой аналитической части работы можно ознакомиться в статье Ю.В. Коржова и Н.Г. Коронатовой (2013).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За 16 месяцев экспериментальной деструкции торфа произошло уменьшение его массы, причём в разной степени в зависимости от экосистемы и глубины закладки образцов (рис. 2). В верхнем слое ряма торф потерял около половины своей исходной массы за 16 месяцев. Здесь наблюдались морфологические изменения образцов: через год произошло измельчение торфа и появились мажущие темно-коричневые участки сильноразложившегося торфа, густо пронизанные

живыми корнями кустарничков. Пробы в нижнем слое рьяма потеряли менее 20% массы, а на обеих глубинах в топи около 30%. При визуальном осмотре торфа изменений не зафиксировано. Прирост массы торфа в мочажине произошел в связи с прорастанием и последующим отмиранием корней трав в образцах (Корнаторова, 2010; Корнаторова, Шибарева, 2010).

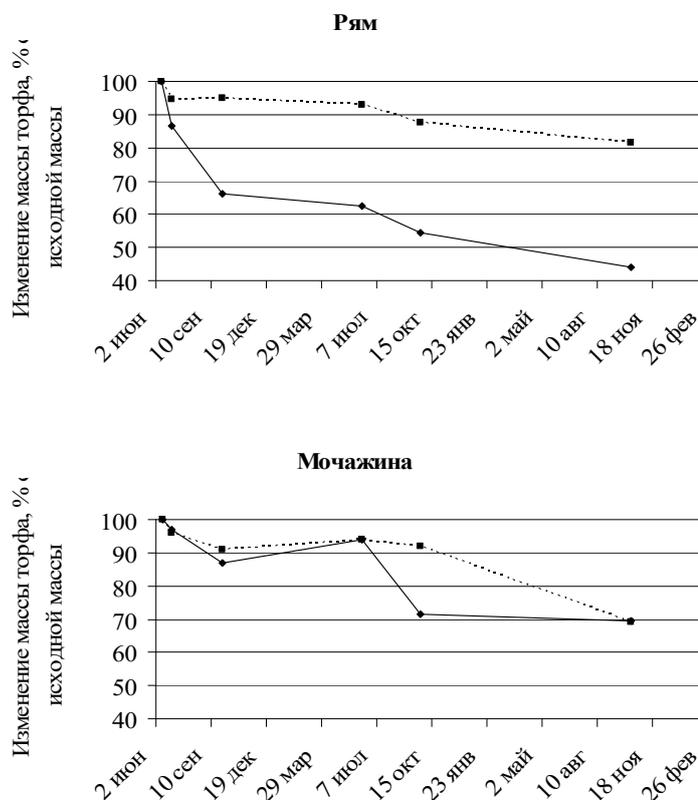


Рисунок 2. Изменение массы торфа (% от исходной массы) в ходе экспериментальной деструкции на Бакчарском болоте: сплошная линия на глубине 5-10 см, пунктирная линия на глубине 25-30 см.

В составе гексан-хлороформного экстракта половину и более составляли циклические терпеноиды, 18% нормальные алканы (н-алканы). Определены также жирные кислоты, кетоны, токоферолы, алканы изопреноидного строения и арены (Коржов, Корнаторова, 2013). Более 10% веществ не идентифицировано. Экстрактивные вещества содержались в количестве 281 мкг/г абс. сух. вещ. в фускум-торфе и 309 мкг/г абс. сух. вещ. в мочажинном торфе. После экспериментальной деструкции их содержание в фускум-торфе увеличилось почти в два раза в аэробной зоне и мало изменилось в анаэробной. В мочажинном торфе, напротив, после деструкции произошло снижение содержания экстрактивных веществ в два раза на обеих глубинах.

н-Алканы составили почти пятую часть от массы экстракта исходных торфов. Установлено бимодальное распределение н-алканов с максимумами, приходящимися на C16 и C25–C31 (рис. 3). Длина гомологического ряда была C39 для мочажинного торфа и C33 для фускум-торфа. Содержание н-алканов с нечётным количеством атомов углерода в молекуле было в два и более раза выше, чем с чётным. В фускум-торфе относительное содержание «нечётных» углеводородов в сравнении с «чётными» оказалось выше, чем в мочажинном. В то же время, максимальное содержание пришлось на цетан (C₁₆H₃₄), площадь пика которого была наибольшей. Через год экспериментальной деструкции фускум-торфа общее содержание н-алканов увеличилось в 1,5 раза в аэробном слое и не изменилось в анаэробном. Содержание цетана увеличилось в 2,4 раза в аэробной зоне, и в 1,4 раза в анаэробной. Содержание остальных «чётных» алканов в поверхностном слое возросло в 1,4-4,6 раз. Содержание C25-, C27- и C31-алканов, суммарная масса которых в исходном торфе была 24 мкг/г абс. сух. вещ., в анаэробном слое стала меньше в 1,2-1,3 раза, а содержание C29-алкана не изменилось. В отличие от фускум-торфа, в мочажинном

торфе после деструкции содержание цетана изменилось не существенно, а общая концентрация н-алканов уменьшилась в 1,5-1,7 раза. Самые заметные изменения произошли в содержании «нечётных» алканов с числом атомов углерода C23-C35: их содержание на обеих глубинах упало в 2-3 раза по сравнению с исходным торфом. После деструкции в мочажинном торфе исчезли C39-, C37-, а в нижнем слое также C35-алканы.

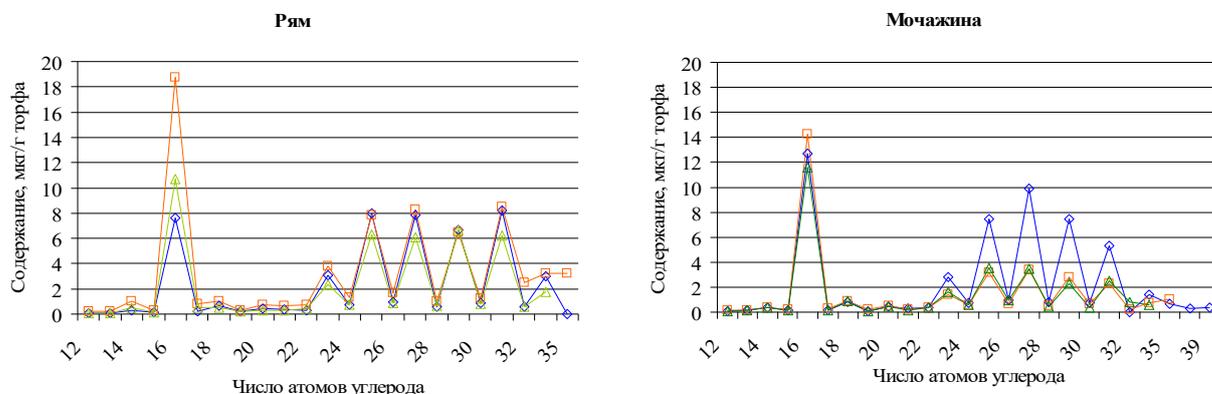


Рисунок 3. Изменение содержания н-алканов, мкг/г абс. сух. торфа: синим исходный торф, красным торф после деструкции на глубине 5-10 см, зелёным торф после деструкции на глубине 25-30 см.

Алканы изопреноидного строения обнаружены в концентрациях от следовых количеств до 1 мкг/г абс.сух.вещ., из них больше всего было фитана. После деструкции в рьяе их суммарное содержание несколько выросло в верхнем слое, главным образом, за счёт фитана. В мочажине изменения наблюдались в слое 25-30 см: здесь увеличилась концентрация C14- и C16-изопреноидных алканов и особенно заметно фитана в 3,5 раза (рис. 4).

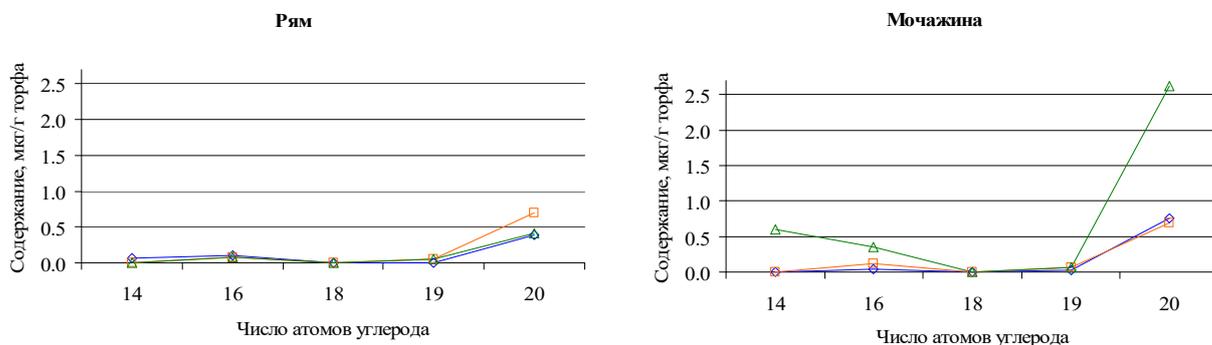


Рисунок 4. Изменение содержания алканов изопреноидного строения, мкг/г абс. сух. торфа: Усл. обозн. см. рис. 3.

Исходное содержание жирных кислот было выше в мочажинном торфе (23,7 мкг/г) по сравнению с фускум-торфом (19,5 мкг/г). Основное содержание пришлось на пальмитиновую ($C_{15}H_{31}COOH$), а также миристиновую ($C_{13}H_{25}COOH$) кислоты (рис. 5). Суммарные концентрации других карбоновых кислот были практически одинаковыми 9,0 и 9,1 мкг/г абс. сух. вещ. в фускум-торфе и мочажинном, соответственно. После деструкции фускум-торфа общее содержание карбоновых кислот в аэробном слое выросло в 1,7 раз, а в анаэробном уменьшилось в 1,3 раза. Сходным образом изменилось содержание пальмитиновой кислоты: в верхнем слое оно увеличилось в 1,4 раза, а в нижнем уменьшилось в 1,5 раз. Содержание других гомологов мало изменилось в анаэробной зоне, в то время как в аэробной стало больше в 1,4-3,0 раза. В мочажинном торфе после деструкции общее содержание карбоновых кислот снизилось до 17,1 мкг/г абс. сух. вещ. в верхнем слое и до 10,7 мкг/г абс. сух. вещ. в нижнем. Содержание пальмитиновой кислоты также уменьшилось пропорционально падению общего содержания кислот. В верхнем слое увеличилось содержание C8-, C10-, C11- и C15-гомологов, осталось на прежнем уровне C12- и C13-кислот и снизилось C17- и C18-кислот. В нижнем слое залежи в мочажине содержание кислот уменьшилось либо не изменилось.

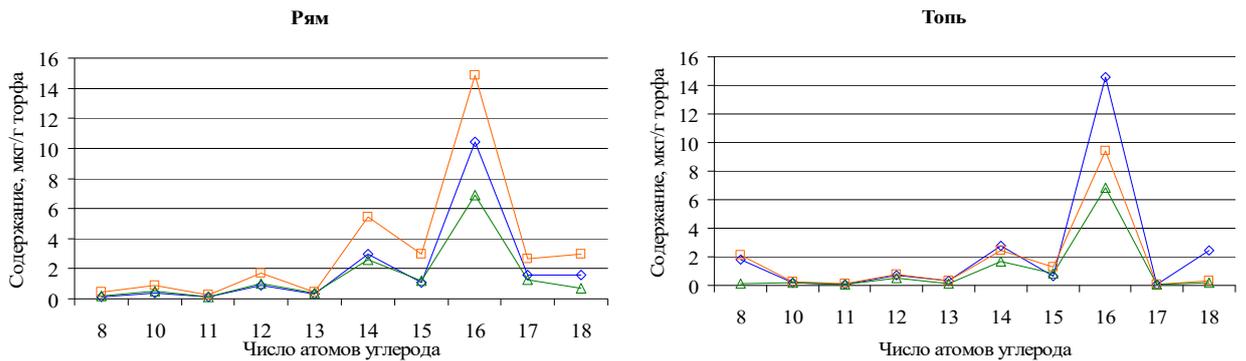


Рисунок 5. Изменение содержания карбоновых кислот, мкг/г абс. сух. торфа: Усл. обозн. см. на рис. 3.

Суммарное содержание кетонов (с числом атомов углерода от C21 до C32) составило 23,9 мкг/г в фускум-торфе и 9,8 мкг/г в мочажинном торфе. На долю C27-кетона приходилось 49% и 43% в мочажинном и фускум-торфе, соответственно (рис. 6). После деструкции торфа в течение года, изменение содержания кетонов было сходно с изменением содержания карбоновых кислот: для фускум-торфа наблюдалось их увеличение в аэробном слое (на 60%) и незначительные уменьшение в анаэробном слое (на 10%), а для мочажинного торфа отмечено снижение содержания в верхнем слое (на 24%) и ещё более значительное в нижнем слое (на 56%). После деструкции фускум-торфа содержание C27-кетона в аэробном слое увеличилось на 30%, а в анаэробном снизилось на 20%. Содержание всех остальных гомологов, кроме C32-кетона, в аэробном слое увеличилось, но наиболее явно выросло содержания C26-кетона в 2,3 раза. В анаэробном слое содержание этого кетона не изменилось. В мочажинном торфе содержание C27-кетона в верхнем слое уменьшилось в соответствии со снижением общего содержания кетонов, а в нижнем слое произошло резкое падение его концентрации, почти в 12 раз от исходного. На обеих глубинах почти в 2,5 раза снизилось содержание C29-гомолога, в отличие от C25-кетона, содержание которого возросло в среднем в 5,6 раз.

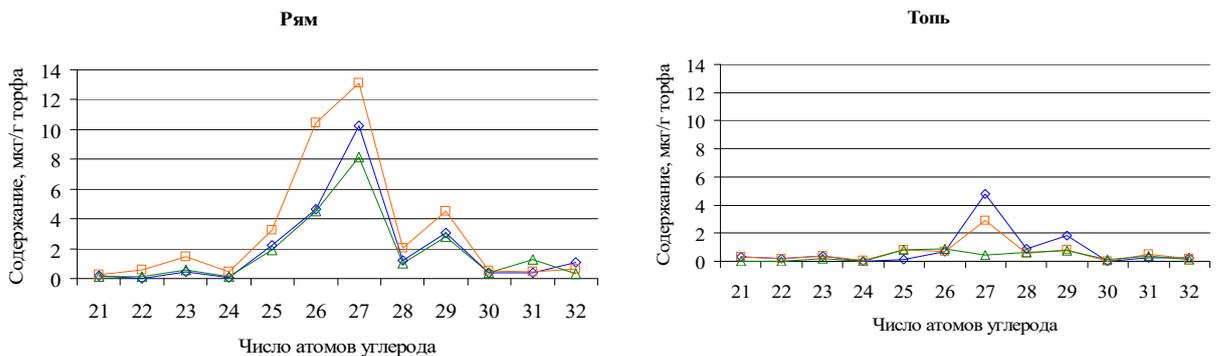


Рисунок 6. Изменение содержания кетонов, мкг/г абс.сух.торфа: Усл. обозн. см. на рис. 3.

Исходное суммарное содержание бициклических аренов было низко и одинаково в двух видах торфа: около 0,1 мкг/г сух. вещ. Бициклические арены были представлены нафталином и его различными метил- диметил- и этилпроизводными. После деструкции наблюдалось разное распределение индивидуальных соединений в фускум-торфе и мочажинном. В ряме концентрация биаренов увеличилась на обеих глубинах до 0,24 мкг/г, причём в верхнем слое в связи с ростом концентрации практически всех производных нафталина, а в нижнем в связи с ростом концентрации одного производного, 1,3-диметилнафталина. В мочажине произошло небольшое снижение каждого из соединений до 0,06-0,07 мкг/г сух. вещ. торфа.

Суммарное содержание трициклических аренов было так же низко и одинаково в обоих исходных торфах, как и бициклических, составив 0,10-0,12 мкг/г сух. вещ. Эта группа была

представлена фенантrenom и его метилпроизводными в соотношении 1:1. После деструкции в верхнем слое ряма концентрация фенантрена и большинства его производных увеличилась в два раза, а в нижнем слое изменения были незначительны. На обеих глубинах в мочажине все соединения снизили своё содержание в 2-3 раза до 0,04 мкг/г сух. вещ. торфа.

На долю циклических терпеноидов пришлось около половины массы экстракта. В отличие от многих других групп соединений, содержание которых в исходных торфах было близко, в мочажинном торфе изначально содержалось почти в 1,5 раза больше циклических терпеноидов, чем в фускум-торфе. Установлено, что в этой группе большинство веществ совпадали в разных торфах, но также присутствовали индивидуальные соединения, встречающиеся только в мочажинном или только в фускум-торфе. Характер изменений после деструкции был подобен многим другим группам: увеличение концентрации в верхнем слое в ряме и уменьшение на обеих глубинах в мочажине (рис. 7).

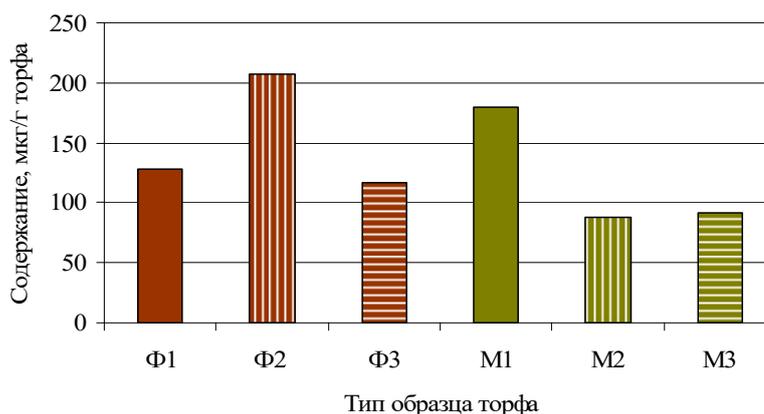


Рисунок 7. Изменение содержания циклических терпеноидов, мкг/г абс.сух.торфа . Ф1 исходный фускум-торф, Ф2 фускум-торф после деструкции на глубине 5-10 см, Ф3 фускум-торф после деструкции на глубине 25-30 см, М1 исходный мочажинный торф, М2 мочажинный торф после деструкции на глубине 5-10 см, М3 мочажинный торф после деструкции на глубине 25-30 см

Содержание токоферолов было высоко 10,8 мкг/г абс. сух. вещ. в фускум-торфе и 3,2 мкг/г абс. сух. вещ. в мочажинном торфе. В мочажинном торфе преобладал α -токоферол, в то время как в фускум-торфе β - и γ -токоферол. После деструкции в верхнем слое ряма содержание токоферолов выросло до 13,3 мкг/г, а в нижнем слое ряма и на обеих глубинах в мочажине уменьшилось, причём в мочажине в 2 раза (рис. 8).

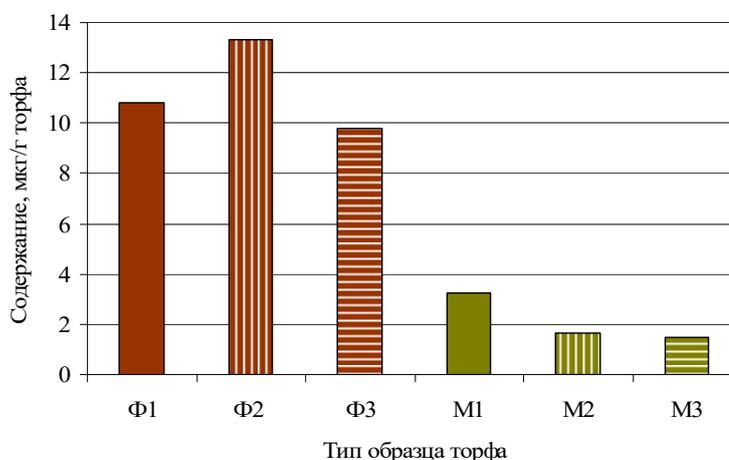


Рисунок 8. Изменение содержания токоферолов, мкг/г абс. сух. торфа: Усл. обозн. см. на рис. 7

Содержание не идентифицированных соединений во всех торфах было от 28 до 46 мкг/г абс. сух. вещ., за исключением фускум-торфа после года деструкции в аэробных условиях, где их содержание резко увеличилось в до 158 мкг/г абс. сух. торфа.

ОБСУЖДЕНИЕ

Общее содержание всех экстрактивных веществ в исходных фускум-торфе и мочажинном торфе было сходно, также совпадали основные группы органических соединений, хотя были различия в соотношении компонентов. После деструкции концентрация всех идентифицированных экстрактивных веществ выросла в 1,5 раза в верхнем слое рьяма в связи с развитием сообщества микроорганизмов, и мало изменилась в его нижнем слое, поскольку в аэробных и холодных условиях биодеструкторы угнетены. На обеих глубинах в мочажине экспериментальные образцы лучше прогревались, а также здесь складывались частично аэробные условия за счёт развития корневых систем трав (Коронатова, 2010; Коронатова, Шибарева, 2010). Такие условия способствовали аналогичному изменению концентрации веществ на обеих глубинах в мочажине их снижению почти в два раза. Известно, что в пониженных микроландшафтах верховых болот (мочажинах) микробная масса ниже в несколько раз и представлена главным образом бактериями в отличие от микромицетов в повышенных элементах болотного ландшафта (рямах, грядах) (Dobrovol'skaya et al., 2012). Принципиальные различия в составе деструкторов, видимо, обусловили разницу в изменении концентраций веществ: увеличение в верхнем слое рьяма в связи с вкладом самих микромицетов и снижение в мочажине в связи с разрушением органических соединений бактериями, причём вклад самих бактерий в состав органических соединений, по-видимому, был минимален. В пользу этого говорит, например, значительное снижение содержания высокомолекулярных *n*-алканов здесь (см. рис. 2).

Преобладание *n*-алканов с нечётным числом атомов углерода в молекуле свидетельствует об их происхождении от высших растений (Серебренникова и др., 2013, 2014b, c). В то же время, максимальное содержание пришлось на «чётный» цетан (C₁₆H₃₄). Согласно литературным данным (Дучко и др., 2013; Серебренниковой и др., 2014c), источником цетана в торфах могут являться различные микроорганизмы, главным образом, аэробные бактерии и низшие грибы. Присутствие цетана в исходных торфах позволяет диагностировать присутствие микроорганизмов на глубине 40-60 см в анаэробных условиях, хотя при этом нельзя сказать, живые ли это микроорганизмы и споры или законсервированные на полуметровой глубине остатки. В исходном фускум-торфе количество микроорганизмов или их остатков меньше, чем в мочажинном, хотя в аэробных условиях на поверхности болот микробная масса выше в повышенных микроландшафтах (Головченко и др., 2005; Dobrovol'skaya et al., 2012). После эксперимента в фускум-торфе содержание цетана выросло почти в 2,5 раза в верхнем аэрируемом слое в связи с развитием сообщества микромицетов в экспериментальных образцах. В нижнем слое рьяма анаэробные условия обусловили незначительное изменение в содержании цетана. В мочажинном торфе концентрация цетана не изменилось, но в 2-3 раза упало содержание нечётных *n*-алканов с числом атомов C₂₅-C₃₅, которые подверглись биодеградации. В то же время здесь выросло относительное содержание низкомолекулярных *n*-алканов за счёт вклада микроорганизмов и биодеструкции (Серебренникова и др., 2014b, 2015).

Изменение концентрации изопреноидных алканов происходило аналогично изменению общего содержания экстрактивных веществ, за исключением нижнего слоя в мочажине, где в результате эксперимента выросло почти в пять раз, главным образом за счёт фитана. Известно, что фитан образуется в восстановительных условиях из фитола, который входит в состав хлорофилла. В мочажине на глубине 25-30 см присутствие болотных вод обусловило постоянные восстановительные условия. Поступающий в слой торфа растительный опад, представленный корнями и корневищами трав, служил постоянным источником фитола, который, вероятно, подвергался микробному окислению в верхнем слое торфа, а в нижнем превращался в фитан. В рьяме травы отсутствовали, растительный опад поступал в основном на поверхность мохового покрова, и фитан не образовался.

Пальмитиновая кислота широко распространена в природе, особенно высоко её содержание в микроорганизмах. Её исходная концентрация в мочажинном торфе была в 1,5 раза выше, чем в фускум-торфе, что аналогично содержанию цетана. Рост содержания пальмитиновой кислоты в 2 раза после инкубации в верхнем слое рьяма и падение концентрации кислот на обеих глубинах в мочажине связано с теми же причинами, что и для цетана. В то же время в верхних слоях рьяма и

мочажины отмечено относительное увеличение содержания низкомолекулярных гомологов, что косвенно свидетельствует о развитии сообщества деструкторов в экспериментальных образцах торфа (Серебренникова и др., 2014b, 2015).

Источником кетонов в торфе являются воска растений, а также микробное окисление алканов (Strel'nikova et al., 2014). После деструкции в аэробном слое ряма существенный рост содержания С27- и особенно С26-кетонов может быть связан с теми же причинами, которые вызывают сдвиг содержания кетонов в высокомолекулярную область в осушенном торфе (Серебренникова и др., 2014b).

Согласно работам Серебренниковой с соавт. (2014c), источником токоферолов в торфе являются хвойные растения. Действительно, в торфе ряма, где растут сосны, содержание токоферолов более, чем в 3 раза выше, чем в мочажине. Здесь преобладал β - и γ -токоферол, в то время как в мочажине α -токоферол, что связано, вероятно, с происхождением от разных групп растений.

В фускум-торфе после деструкции в аэрируемом слое содержание не идентифицированных соединений было в несколько раз выше, чем в других торфах, что связано с развитием микробосообщества, деятельность которого приводит к увеличению степени разложения торфа и возникновению большого разнообразия органических веществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышенные ландшафты (гряды, рямы) и пониженные (топи, мочажины) существуют в комплексе и формируют современный облик западносибирских болот. Несмотря на тесное сосуществование, эти ландшафты существенно различаются по видовому составу растений и микроорганизмов, составу и свойствам торфа, гидрологическому и термическому режиму, что было показано исследователями из разных областей. Результаты данной работы свидетельствуют также о различии в биохимическом преобразовании органической массы торфа при деструкции в залежи повышенных и пониженных болотных экосистем Западной Сибири, очевидно, в связи с разницей в составе микробосообществ. Следствием этого может быть разная скорость углеродного цикла на деструкционном этапе в зависимости от типа болотного ландшафта.

При деструкции в ряме в верхнем аэробном слое, который за год потерял около половины своей массы, возросло содержание цетана, пальмитиновой и миристиновой кислот, С26-кетона, бициклических компонентов, фенантрена и неидентифицированных соединений. В нижнем анаэробном слое ряма существенные изменения не наблюдались, за исключением увеличения содержания 1,3-диметилнафталина.

В мочажине более выраженные изменения были приурочены к нижнему 30-см слою: здесь выросло содержание изопреноидных алканов, особенно фитана, и почти исчез С27-кетон, который преобладал в исходном торфе. На обеих глубинах в мочажине уменьшилось содержание нечётных алканов с длиной углеродной цепочки от С25 до С31, пальмитиновой кислоты, трициклических аренов, терпеноидов и токоферолов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую признательность доценту Института природопользования Югорского государственного университета, кандидату химических наук Юрию Владимировичу Коржову за неоценимую помощь в освоении методики газовой хромато-масс-спектрометрии и идентификации веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головченко А.В., Санникова Ю.В., Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г. Сапротрофный бактериальный комплекс верховых торфяников Западной Сибири // *Микробиология*. 2005. Т. 74. №4. С. 545-551.
2. Дучко М.А., Гулая Е.В., Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И. Распределение н-алканов, стероидов и тритерпеноидов в торфе и растениях болота Тёмное // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2013. Т. 323. №1. С. 40-44.
3. Коржов Ю.В., Корнатовая Н.Г. Состав гексан-хлороформного экстракта верховых торфов южной тайги Западной Сибири // *Химия растительного сырья*. 2013. №. 3. С.213-220.
4. Корнатовая Н.Г. Исследование разложения торфа в болотах методом инкубации сухих и влажных образцов // *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2010. №.1. С. 65-71.

5. Коронатова Н.Г., Шибарева С.В. Изменение массы торфа в процессе его разложения на болотах Польши и Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2010. Том 3. С. 445-451.
6. Серебренникова О.В., Сваровская Л.И., Стрельникова Е.Б., Русских И.В., Кадычагов П.Б., Дучко М.А. Влияние биодеструкции на состав органических соединений торфа // В сб.: *Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы III Междунар. науч.-практич. конф.* Екатеринбург, 2015. С. 163-166.
7. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Дучко М.А., Аверина Н.Г., Козел Н.В. Сравнительный анализ химического состава битуминозных компонентов низинных торфов двух болотных экосистем // *Фундаментальные исследования*. 2014а. № 12. Часть 1. С. 112-117.
8. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И., Аверина Н.Г., Козел Н.В., Бамбалов Н.Н., Ракович В.А. Состав экстрактивных веществ торфов осушенных и ненарушенных верховых болот Беларуси и Западной Сибири // *Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии*. 2014b. Т. 325, № 3. С. 31-45.
9. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И., Дучко М.А. Влияние источника и условий торфонакопления на индивидуальный состав битуминозных компонентов торфа на примере двух низинных болот Западной Сибири // *Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии*. 2014с. Т. 325. № 3. С. 80-91.
10. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Прейс Ю.И. Особенности состава липидов верховых и низинных торфов юга Томской области // *Известия Томского политехнического университета*. 2013. Т. 322, № 3. С. 77-82.
11. Dobroval'skaya T.G., Golovchenko A.V., Kukharensko O.S., Yakushev A.V., Semenova T.A., and Inisheva L.A. The structure of the microbial communities in low-moor and high-moor peat bogs of Tomsk Oblast // *Eurasian Soil Science*. 2012. Vol. 45, № 3. P.273-281.
12. Grover S.P.P., Baldock J.A. Carbon decomposition processes in a peat from the Australian Alps // *European Journal of Soil Science*. 2010. Vol. 61, №1. P. 217-230.
13. Grover S.P.P., Baldock J.A. Carbon chemistry and mineralization of peat soils from the Australian Alps // *European Journal of Soil Science*. 2012. Vol. 63, №2. P. 129-140.
14. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., Gulaya E.V. Hydrocarbon composition of the organic matter of peats in the south of Western Siberia // *Solid Fuel Chemistry*. 2010. Vol. 44, №5. P. 40-50.
15. Strel'nikova E.B., Serebrennikova O.V., Preis Yu.I. Oxygen-containing organic compounds of the bituminous components of high-moor peat from the south of Western Siberia // *Solid Fuel Chemistry*. 2014. Vol. 48, № 2. P. 85-91.

Поступила в редакцию 13.03.2017;
принята 01.12.2017; опубликована 10.01.2018

Сведения об авторе:

Коронатова Наталья Геннадьевна - научный сотрудник, кандидат биологических наук, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, лаборатория биогеоценологии, Новосибирск, Россия, coronat@mail.ru

CHANGE OF THE CONTENT OF ORGANIC COMPOUNDS GROUPS AS A RESULT OF THE SPHAGNUM PEAT DECOMPOSITION

© 2018 N.G. Koronatova 

Address: Institute of Soil Science and Agro chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: coronat@mail.ru

Different groups of organic compounds were specified in hexane-chloroform extract of fuscum peat and Sphagnum hollow peat retrieved in Bakcharsky bog that is situated in Tomsk region. Organic components were identified in native peats taken from a depth of 40-60 cm in elevated (pine-shrub-Sphagnum bog) and low (sedge-Sphagnum lawn) mire landscapes, and after their field decomposition in the same ecosystems during 16 months above and below the water table, at depths of 5-10 cm and 25-30 cm. The analysis of peat extractive compounds was carried out by gas chromatography-mass spectrometry. The total content of all extractives was 309 µg/g abs. dry matter in Sphagnum hollow peat and 281 µg/g abs. dry matter in fuscum peat. After the decomposition, the total content of compounds 2-fold increased in aerobic zone and slightly decreased in the anaerobic zone in fuscum peat, and their content in Sphagnum hollow peat were almost 2 times lower at both depths. These changes were accompanied by a relative increase in content of cetane, as well as some n-alkanes with an even number of carbon atoms in the molecule, carboxylic acids, and C26-ketone (in the aerobic zone of fuscum peat deposit), C25- ketone and alkanes of isoprenoid structure (in the Sphagnum hollow peat). Simultaneously it was observed the relative reduction of content of palmitic acid

and isoprenoid alkanes (in the anaerobic zone of fuscum-peat), some alkanes with an odd number of carbon atoms in the molecule, C29-ketone (in Sphagnum hollow peat at both depths) and C27-ketone (at a depth of 25-30 cm in hollow). These results indicate various ways of organic mass transforming during decomposition in elevated (pine-shrub-Sphagnum bogs, ryams, ridges) and low (grass-Sphagnum lawns, hollows) mire ecosystems.

Key words: raised bog, groups of peat organic compounds, gas chromatography-mass spectrometry, peat decomposition, Western Siberia

How to cite: Koronatova N.G. Change of the content of organic compounds groups as a result of the sphagnum peat decomposition // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(1): 6-15. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Golovchenko A.V., Sannikova Yu.V., Dobrovol'skaya T.G., Zvyagintsev D.G. The saprotrophic bacterial complex in the raised peat bogs of Western Siberia, *Microbiology (Mikrobiologiya)*, 2005, Vol. 74, No.4, p. 471-476.
2. Duchko M.A., Gulaya E.V., Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Preis Yu.I. Distribution of n-alkanes, steroids and triterpenoids in peat and plants of Tyemnoe mire, *Bull. of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, Vol. 323, No.1, p. 40-44. (In Russian)
3. Korzhov Yu.V., Koronatova N.G. The composition of hexane-chloroform extract of ombrotrophic peats of southern taiga of Western Siberia, *Chemistry of plant raw material*, 2013, No.3, p. 213-220. (In Russian)
4. Koronatova N.G. An investigation of the peat decomposition in mires using method of incubation of dry and wet samples, *Environmental dynamics and Global Climate Change*. 2010. - No.1. P. 65-71. (In Russian)
5. Koronatova N.G., Shibareva S.V. Change of peat mass during decomposition in mires of Poland and West Siberia, *Contemporary probl. of ecology*, 2010, Vol.3, No.3, p. 312-317.
6. Serebrennikova O.V., Svarovskaya L.I., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V., Kadychagov P.B., Duchko M.A. Effect of biodegradation on the composition of peat organic compounds. In: *Problems of studying and using of peat resources in Siberia: Proceedings of III International scientific and practical conference (27 Sen. - 3 Oct. 2015, Tomsk)*. Ekaterinburg: Open Company Universal printing house "Alpha Print", 2015, p.163-166. (In Russian)
7. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Duchko M.A., Averina N.G., Kozel N.V. The comparative analysis of bituminous compounds of two bog ecosystems lowland peat, *Fundamental res.* 2014a, No.12-1, p.112-117. (In Russian)
8. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Preis Yu.I., Averina N.G., Kozel N.V., Bambalov N.N., Rakovich V.A. The composition of peat extracts from drained and natural raised bogs of Belarus and Western Siberia, *Bull. of the Tomsk Polytechnic University*, 2014b, Vol. 325, No.3, p 31-45. (In Russian)
9. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Preis Yu.I., Duchko M.A. Influence of source and conditions of peat accumulation on composition of peat bitumen from two fen mires of Western Siberia, *Bull. of the Tomsk Polytechnic University*, 2014c, Vol. 325, No3, p. 80-91. (In Russian)
10. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Preis Yu.I. The features of lipid structure in high and lowland peats in the south of Tomsk region, *Bull. of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, Vol. 322, No3, p. 77-82. (In Russian)
11. Dobrovol'skaya T.G., Golovchenko A.V., Kukharensko O.S., Yakushev A.V., Semenova T.A., and Inisheva L.A. The structure of the microbial communities in low-moor and high-moor peat bogs of Tomsk Oblast, *Eurasian Soil Sci.*, 2012, Vol. 45, No 3, p.273-281.
12. Grover S.P.P., Baldock J.A. Carbon decomposition processes in a peat from the Australian Alps, *European J. of Soil Sci.*, 2010, Vol. 61, No1, p. 217-230.
13. Grover S.P.P., Baldock J.A. Carbon chemistry and mineralization of peat soils from the Australian Alps, *European J. of Soil Sci.*, 2012, Vol. 63, No2, p. 129-140.
14. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., Gulaya E.V. Hydrocarbon composition of the organic matter of peats in the south of Western Siberia, *Solid Fuel Chemistry*, 2010, Vol. 44, No.5, p. 40-50.
15. Strel'nikova E.B., Serebrennikova O.V., Preis Yu.I. Oxygen-containing organic compounds of the bituminous components of high-moor peat from the south of Western Siberia, *Solid Fuel Chemistry*, 2014, Vol. 48, No2, p. 85-91.

Received 03 March 2017;

Accepted 01 December 2017;

Published 10 January 2018

About the author:

Koronatova Natalia G. - scientific researcher, PhD in Biology, Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of RAS, Laboratory of Biogeocenology, Novosibirsk city, Russia, coronat@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/)

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОРНЕОБИТАЕМОГО СЛОЯ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

© 2018 г. И.Д. Махатков, Ю.В. Ермолов

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

В работе представлены результаты годового цикла измерений температуры корнеобитаемого слоя в четырёх сообществах северной тайги Западной Сибири. Измерения проводили программируемыми датчиками в пяти повторностях, что позволило оценить среднеквадратичное отклонение измерений, которое рассматривали как меру пространственного варьирования температуры. Рассмотрены сезонные и суточные особенности пространственного варьирования в разных сообществах. Наиболее заметное влияние суточных колебаний температуры корнеобитаемого слоя на её пространственную неоднородность было выявлено в сосновом лесу в течение всего лета, а для бугров плоскобугристого болота - в начале лета, в период интенсивного оттаивания сезонно-мёрзлого слоя.

Ключевые слова: почва, корнеобитаемый слой, температура, варьирование, северная тайга

Цитирование: Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. Пространственное варьирование температуры корнеобитаемого слоя почв северной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2018. 1(1). С.16-24.

ВВЕДЕНИЕ

Тепловой режим почв – один из важнейших факторов генезиса почв и условий существования наземной биоты. В этой связи ему уделяется пристальное внимание, а изучению температуры почвы посвящено множество исследований.

Как правило, такие исследования ограничены одним профилем для объекта исследований – единиц ландшафта, фитоценоза, сельхозугодий и т.д. В ряде работ на основе кратковременных рядов измерений отмечали значительное горизонтальное варьирование температуры верхних горизонтов почвы, которое в лесных ценозах связано с пространственной неоднородностью древостоя и напочвенного покрова (Природные режимы..., 1977). Исследования температурных полей с длительными временными рядами начались с появлением программируемых датчиков. Большей частью такие исследования связаны с задачами определения свойств сельскохозяйственных угодий (Шейн с соавт., 2009, Mohanty et al, 1995), или сопровождают исследование почвенных процессов, например, засоления (Dale, Miller, 2007).

Пространственная вариабельность температурного режима почв естественных сообществ связана с изреженностью лесного (Ma et al, 2010) и кустарникового (Кожобекова, Бопамбеков, 2014) полога, с локальными свойствами почв (Рыспеков, 2012). Проводят также исследования, посвящённые собственно проблеме пространственного варьирования температуры почвы (Новикова, 2016; Redding et al, 2003) и анализа пространственных и пространственно-временных температурных полей (Seufried, 2016; Tallon, 2014). Однако такие исследования редки, характер пространственного варьирования температуры почвы для многих территорий и наземных экосистем остаются неизвестными. Это относится и к сообществам северной тайги Западной Сибири.

К наиболее распространённым биогеоценозам северной тайги (Ильина др., 1985) можно отнести лесные зональные сообщества лиственничных кустарничково-зеленомошных с участием тёмнохвойных и мелколиственных пород (Хозяинова, Алексеева, 2007) на глееподзолистых почвах и светлосъемах (Смоленцев, 2002), интразональные сосновые кустарничково-лишайниковые леса на подзолах иллювиально-железистых и иллювиально-железисто-гумусовых и комплексные мёрзлые плоскобугристые болота (Шалатонов, 2011), находящиеся здесь вблизи южной границы своего распространения (Кац, 1948). Древостои лесных сообществ, как правило, редкостойные (Хозяинова, 2008), в южной части северной тайги в сложении древостоя значительно участие тёмнохвойных (ели и кедра), сомкнутостью древостоя 0.5 - 0.6. Древостои монодоминантных сосновых лесов более разрежены. Микрорельеф лесных сообществ в основном связан с валежом на разной стадии разложения, в зональных лесах значительная часть микрорельефа связана с ветровальными комплексами. Кустарничковый ярус хорошо развит в напочвенном покрове зональных лесов,

кустистые кладонии образуют редкие отдельные синузии среди сплошного покрова зелёных мхов (Ильина др., 1985). В напочвенном покрове сосновых кустарничково-лишайниковых лесов кустарнички сосредоточены в микропонижениях и вблизи стволов сосны. Здесь же сосредоточены синузии зелёных мхов (Хозяинова, 2007). Плоскобугристые болота представлены комплексом плоских бугров высотой около 1-1.5 м и обводнённых мочажин. На буграх плоскобугристых болот деревья (сосна и кедр) встречаются в виде отдельных угнетённых экземпляров. Микрорельеф выражен только на буграх. Здесь большинство кустарничков тяготеют к микроповышениям 0.2-0.3 м высотой, подбел и черника - к микропонижениям. В мохово-лишайниковом ярусе хорошо выражены синузии кустистых кладоний и сфагновых мхов, распределение которых, так же связано с микрорельефом. Характерная особенность бугров плоскобугристых болот - близкое залегание многолетнемёрзлого слоя торфа, в северной тайге - около 0.5 м (Лисс с соавт., 2001).

Целью наших исследований было определение пространственного варьирования температуры корнеобитаемого слоя (КС), тепловой режим которого оказывает наибольшее ценотическое влияние, в пределах локальных биогеоценозов центрального сектора северной тайги Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в окрестностях г. Ноябрьска, ЯНАО. Для наблюдений было выбрано 4 участка в типичных условиях трёх наиболее распространённых типах местных биогеоценозов: зонального лиственничника кустарничково-зеленомошного леса (75° 4' 59,16" СШ, 63° 9' 34,2" ВД), соснового кустарничково-лишайникового леса (75° 29' 36,6" СШ, 62° 14' 37,32" ВД) и 2 участка плоскобугристого болота (76° 49' 45,48" СШ, 61° 9' 28,44" ВД) – бугра и прилегающей мочажины. Локальные климатические условия можно считать сходными: крайние участки по долготе отстояли примерно на 33, а по широте - на 10 км.

Для измерения температуры использовали программируемые автономные регистраторы температуры DS1921G (<http://www.elin.ru/Thermochron/?topic=descr>), установленные на глубине 10 см, и регистрировавшие температуру с точностью 0,5°C каждые 4 часа в сроки - 1, 5, 9, 13, 17 и 21 час по местному административному времени, которое незначительно, на 5 минут, отличается от местного астрономического времени. На каждом участке было установлено по 5 датчиков в трансектах через каждые 3 м. В лесных ценозах глубину закладки датчиков отмеряли от поверхности минеральных отложений, т.е. от нижней границы лесной подстилки, в болотных – от поверхности сфагнового покрова, а в лишайниковых синузиях – от поверхности торфа. Один из датчиков, установленных в сосновом лесу, вышел из строя, что сократило здесь повторность измерений до 4. Наблюдения проводились с 20 августа 2015 по 19 августа 2016 г., т.е. полный годовой цикл. Из-за недостаточного объёма памяти регистраторов температуры данные снимали дважды – в июне и августе.

Для корректировки измерений автономные регистраторы температуры вместе со срочным термометром предварительно помещались в контрастные температурные условия, полученные измерения использовали для определения коэффициентов полиномов первого порядка каждого датчика.

К работе были привлечены данные по метеостанции г. Ноябрьска с сайта <https://rp5.ru/>.

В качестве меры варьирования температуры принимали величину среднеквадратичного отклонения значений температуры, измеренной разными датчиками в один срок:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

где n - количество наблюдений (датчиков), $x_i - \bar{x}$ - отклонение i-го наблюдения от среднего значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдений среднегодовая температура воздуха составила -1.5°C, превышая среднемноголетнюю -2.3°C. Наиболее холодный месяц - январь, наиболее тёплый - июль (рис. 1). Снежный покров начал формироваться в начале октября, и наращивал мощность до конца марта, достигнув 67 см, затем, в течение апреля почти полностью стаял, хотя в первой половине мая в отдельные дни наблюдались небольшие снегопады.

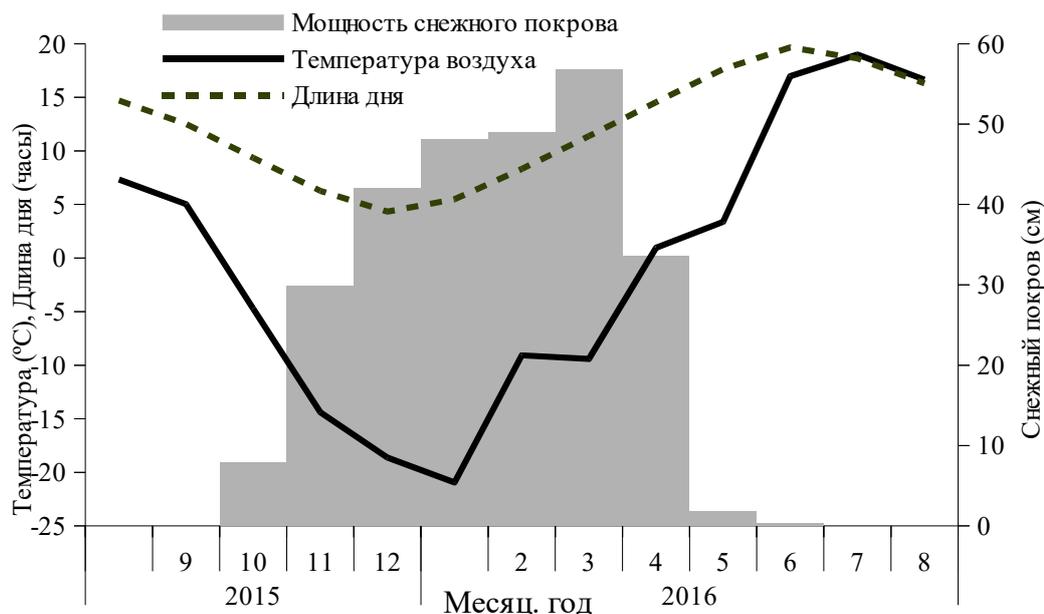


Рисунок 1. Динамика основных климатических условий за период наблюдений: среднемесячная температура воздуха, длина светового дня и мощность снежного покрова.

На широте г. Ноябрьска в течение года существенно меняется длина светового дня - от 4 часов в декабре, до 19 часов 40 минут в июне, что в летнее время в ясную погоду обеспечивает большой суточный поток прямой солнечной радиации.

По итогам измерений среднегодовая температура и диапазон зафиксированных температур КС лиственничного леса оказались меньше КС соснового леса (таблица). При этом среднеквадратичное отклонение одновременных измерений, усреднённое за год, оказалось выше в лиственничном лесу. Самым холодным оказался КС бугра, здесь же отмечали наибольший размах зафиксированных значений температуры и наибольшее среднеквадратичное отклонение. Только в КС лиственничного леса не было зафиксировано отрицательных температур.

Таблица. Годовые итоги измерений

Участок	Температура			Среднеквадратичное отклонение		
	Средняя	Максимальная	Минимальная	Среднее	Максимальное	Минимальное
Лиственничный лес	3,3	15,0	0,0	0,73	3,00	0,34
Сосновый лес	4,0	21,5	-1,0	0,63	3,93	0,10
Бугор	1,6	20,9	-8,0	0,98	3,51	0,07
Мочажина	4,5	20,6	-1,1	0,54	3,43	0,12

Среднесуточная температура КС на всех участках в бесснежный период в целом следовала за температурой воздуха, при погодных изменениях запаздывая на 1-2 дня. В октябре, с началом формирования снежного покрова и до его схода, температура почвы на всех участках слабее реагировала на изменения температуры воздуха (рис. 1, 2). Наиболее низкие среднесуточные температуры наблюдали на буграх плоскобугристого болота. Здесь КС мёрзлый с середины октября по первой половине апреля, в самое холодное время среднесуточная температура опускалась до $-5,1^{\circ}\text{C}$. В сосновом лесу и мочажине плоскобугристого болота промерзание КС наблюдали только с конца декабря, и до второй половины апреля. Средняя срочная температура здесь опускалась до $-0,4^{\circ}\text{C}$ в мочажине и до $-0,5^{\circ}\text{C}$ в сосновом лесу.

На всех участках наибольшие среднеквадратичные отклонения измерений свойственны началу тёплого сезона. В лесных ценозах наибольшее варьирование наблюдается в июне, уже после схода снега, в период активного прогревания почвы, и связано, вероятно, с неоднородностью напочвенного покрова и лесной подстилки. На эту неоднородность может влиять и прямая солнечная радиация, которая особенно велика именно в это время. Очень большие среднеквадратичные отклонения температуры в это время показывает температура КС соснового леса, различия одновременных измерений иногда достигают 9,6°C. Сходный диапазон измерений температуры КС выявлен в сосняках мшистых Заволжья на глубине 5 см (Демаков, Исаев, 2013).

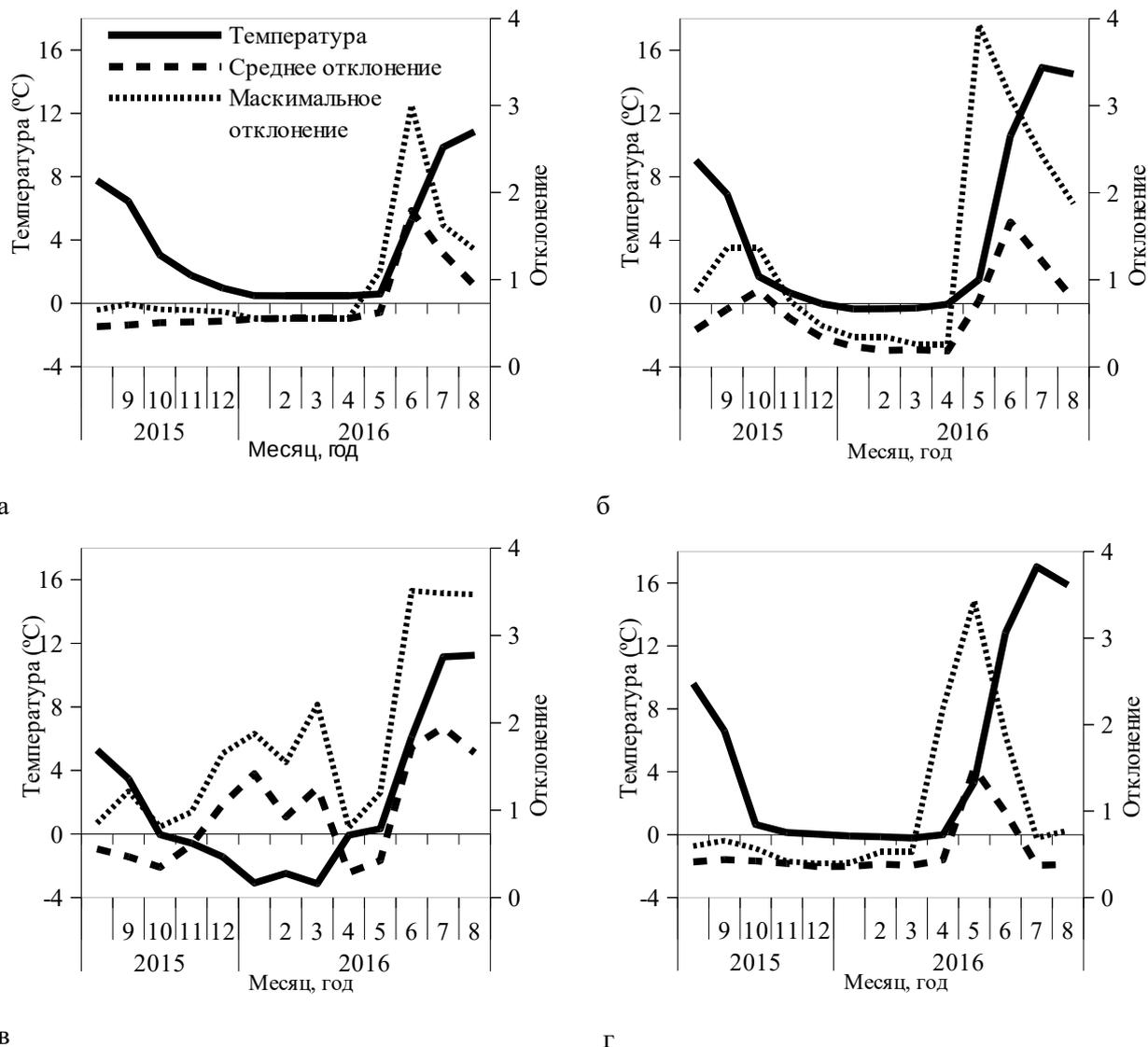


Рисунок 2. Годовая динамика среднемесячной температуры КС и среднеквадратичных отклонений: а – лиственный лес, б – сосновый лес, в – бугор, г – мочажина.

Сомкнутость древостоя лиственного леса значительно выше, чем соснового, и влияние теней крон на температуру почвы менее заметно. Температура КС лиственного леса в течение всего года, кроме июня, проявляет слабое пространственное варьирование, что свидетельствует о сравнительно однородных условиях теплообмена почвы с атмосферой. В июне разница одновременных измерений температуры достигала 7-8°C. Начиная с последней декады июня различия одновременных измерений не превышала 5°C. Сходные результаты для усреднённых измерений температуры почвы на глубине 10 см под разными синузиями приводятся для лиственных лесов Эвенкии (Бенькова с соавт., 2014).

В сосновом лесу пространственное варьирование температуры КС наблюдали и в период установления снежного покрова, с первыми заморозками, когда отклонение температуры достигало

3,7°C. В течение зимы, по мере накопления снега, пространственная вариабельность температур последовательно снижается и резко возрастает в конце мая и июне, прогревание почвы в этот период в сосновом лесу происходит намного интенсивнее прогревания почвы под лиственничным лесом.

Сезонная динамика пространственного варьирования температуры, сходная с варьированием в лесных ценозах, наблюдается в мочажине плоскобугристого болота. Здесь высокие значения среднеквадратичного отклонения температуры наблюдаются уже в начале мае, с первыми оттепелями, когда разница температур КС достигает 9,5°C, и, вероятно, связано с неравномерным сходом снега и оттаиванием поверхности мочажины. Уже в июне вариабельность снижается, и остаётся низкой с в течение всего года. Такая выровненность температур связана с хорошей теплопроводностью обводнённого КС мочажины, и отсутствием выраженного микрорельефа.

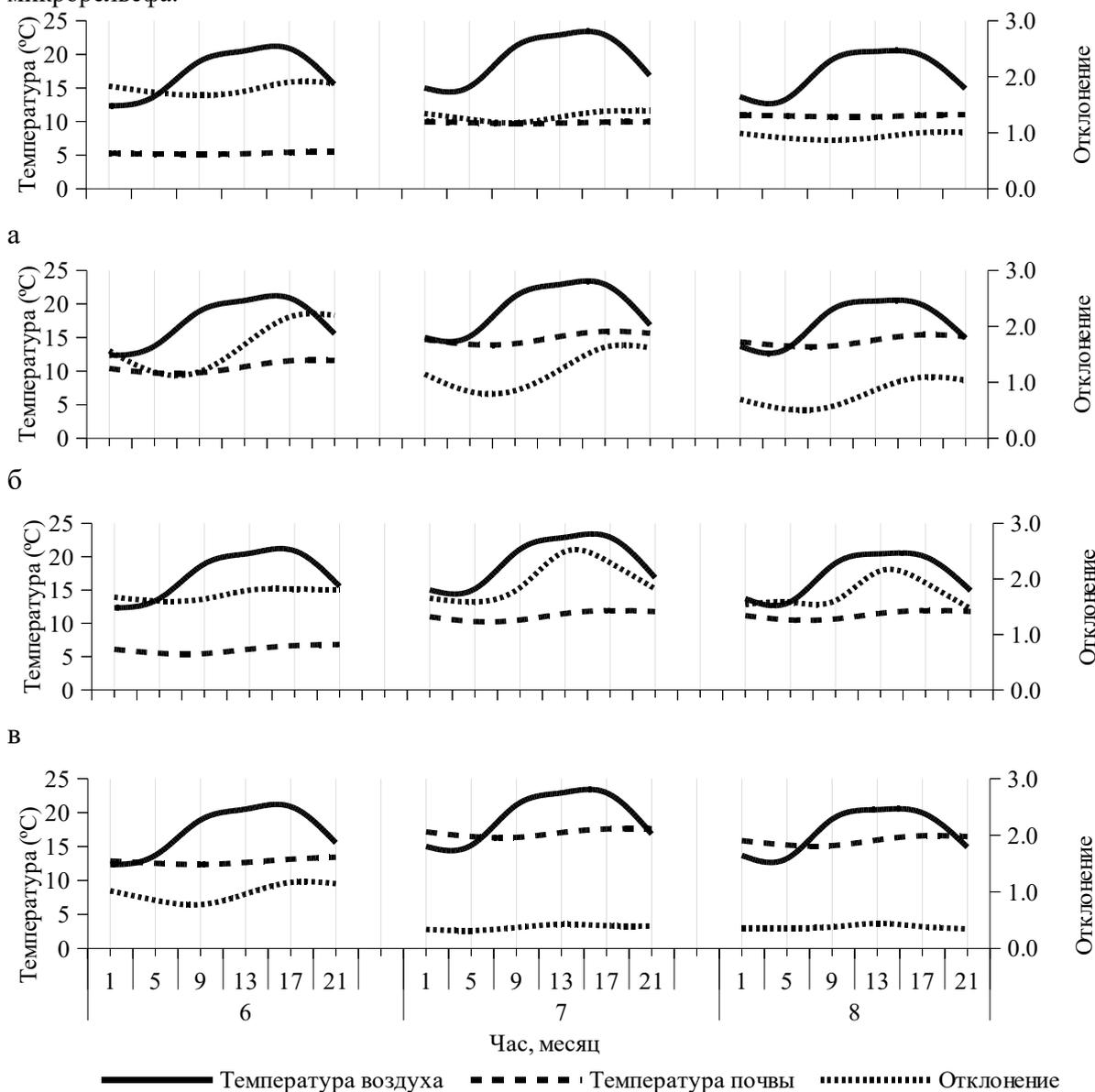


Рисунок 3. Суточный ход температуры воздуха, температуры корнеобитаемого слоя и среднеквадратичного отклонения температуры почвы в летние месяцы: а - лиственничный лес, б - сосновый лес, в - бугор, г - мочажина.

Своеобразную динамику пространственной вариабельности температуры показал бугор плоскобугристого болота. В отличие от других участков температура КС в зимний период демонстрирует заметный отклик на изменения температуры воздуха. После установления устойчивого снежного покрова пространственная вариабельность температуры КС возростала (в

отдельных случаях до 4,5°C) и оставалась высокой в течение всей зимы, снижаясь только в период снеготаяния. Такая зимняя вариабельность, по всей вероятности, связана с сильной неравномерностью мощности снежного покрова, которая в свою очередь возникает из-за хорошо выраженного микрорельефа поверхности бугра. В условиях обширных открытых пространств снег многократно перераспределяется, накапливаясь в западинах и исчезая на бугорках. Из-за этой пространственной неравномерности эффекта теплоизоляции снежного покрова, возрастает и неоднородность температуры КС, особенно усиливаясь в периоды сильного похолодания. Во время снеготаяния (в апреле при температурах около 0°C) температура КС выравнивалась, возможно, из-за равномерного промачивания талыми водами. С началом активного прогревания почвы вариабельность температуры вновь возрастала и оставалась высокой в течение всего лета и начала осени; разница температур в это время в отдельные дни могла достигать 10,1°C. Эта летняя вариабельность связана с наличием многолетнемёрзлого слоя, который в разных элементах микрорельефа находится на разном глубине от КС и оказывает разное влияние на его температуру.

Явные суточные колебания температуры КС наблюдались только в тёплый период, особенно в летние месяцы, что связано с суточными колебаниями температуры воздуха (рис. 3). В июле усреднённый диапазон суточных колебаний температуры воздуха составлял 8,6°C и последовательно снижался в июле и августе до 7,9 и 7,2°C, соответственно. Суточные колебания температуры воздуха в течение всего летнего сезона практически не влияли на суточный ход температуры КС лиственный лес и на её пространственную вариабельность. В сосновом лесу усреднённый суточный диапазон температуры КС был значительный, составляя почти 2°C в июне и июле, и 1,7°C - в августе. Здесь в течение всего лета наблюдали существенное влияние суточных колебаний температуры на её пространственную вариабельность, которая снижалась в утренние часы и возрастала к часам 17-21, когда почва максимально прогревалась, а температура воздуха к этому времени уже существенно снижалась.

Суточные колебания температуры КС бугров были несколько меньше, и их наибольший усреднённый диапазон пришёлся на июль, составив 1,7°C, а в августе снизился до 1,4°C. В эти месяцы было велико и влияние суточных колебаний температуры на её пространственную неоднородность. В отличие от леса наибольшую неоднородность температуры КС бугров наблюдали в 13 часов, хотя, как и в лесу, наибольший прогрев почвы происходил в 17-21 часов. Это повышение неоднородности температуры почвы связано, скорее всего, с большим вкладом прямой солнечной радиации, наиболее интенсивной около полудня.

Суточные колебания температуры КС мочажины немного возрастали в течение лета - от 1,1 в июне, до 1,4°C в августе. Заметное влияние на пространственную неоднородность температуры эти колебания оказывали только в июне, что, по-видимому, связано с общей неоднородностью прогрева разных участков мочажины после зимы.

ВЫВОДЫ

1. Во всех ценозах наибольшую вариабельность температуры КС наблюдали в начале тёплого периода. В лесных ценозах она возникает уже после схода снега и, вероятно, связана с неоднородностью напочвенного покрова и лесной подстилки, а в сосновых лесах обусловлена неоднородностью прямой солнечной радиации из-за тени крон.

2. Наименьшее пространственное варьирование температур КС наблюдается в мочажинах плоскобугристых болот, что связано с отсутствием микрорельефа и их сильной обводнённостью.

3. Сильное пространственное варьирование температур КС бугров плоскобугристых болот наблюдается как в тёплый, так и холодный период. Неоднородность температур КС здесь возникает из-за хорошо выраженного микрорельефа и пространственного варьирования влияния глубины ниже лежащего многолетнемёрзлого слоя и мощности снежного покрова на температуру КС.

4. Наиболее заметное влияние суточных колебаний температуры корнеобитаемого слоя на пространственную неоднородность температуры характерно для соснового леса в течение всего лета, и корнеобитаемого слоя бугров плоскобугристого болота – в начале лета при интенсивном оттаивании сезонно-мёрзлого слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенькова В.Е., Зырянова О.А., Шашкин А.В., Бенькова А.В., Собачкин Д.С., Симанько В.В., Зырянов В.И. Влияние пространственной мозаичности мохово-лишайникового покрова на радиальный рост лиственницы Гмелина (Центральная Эвенкия) // *Лесоведение*. 2014. № 4. С. 41-49.
2. Демаков Ю.П., Исаев А.В. Пространственное изменение температуры почвы в суходольных и пойменных биогеоценозах // *Научные труды заповедника «Большая Кокшага»*. 2013. Вып. 6. С. 39 - 47.
3. Ильина И.С., Лапина Е.Н., Лавренко Н.Н. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 252 с.
4. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М. Географгиз. 1948. 320 с.
5. Кожабеева А.Ж., Бопамбеков Д.И. Динамика температуры поверхности почвы в тени саксаульников и на открытом участке // *Наука и Мир*. 2014 №3(7) Т. 1. С. 237 -238.
6. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Иншиева Л.И., Курнишкова Т.В., Слуга З.А., Толтышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К, 2001. 584 с.
7. Новикова В.А. Анализ взаимосвязи температуры почвы с растительным покровом на участке песчаной степи (природный заповедник «Днепровско-Орельский») // *Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького*. 2016. 6 (2). С. 5–13.
8. Природные режимы средней тайги Западной Сибири. Новосибирск.: Наука, 1977. 300 с.
9. Рысбеков Т.Р. Зависимость данных почвенных термометров от их расположения относительно генетических почвенных трещин в степной зоне Казахстана // *Гидрометеорология и экология*. 2012. №1. С. 88 - 97.
10. Смоленцев Б.А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северо-таежная подзона Западной Сибири). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 118 с.
11. Хозяинова Н.В. Флора и растительность северной тайги Пуровского района Тюменской области (север Западной Сибири) // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения* 2008. Вып. 8. С. 27–42.
12. Хозяинова Н.В., Алексеева Н.А. Флора и растительность бассейна Р. Вэнгяха (Тюменская область) // *Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования*. 2007. №6. С.158-164.
13. Шалатонова Е.Н. Пространственная организация растительного покрова в районе озера Нумто (Ханты-Мансийский автономный округ - Югра) // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2011. Т.12. С. 77-80.
14. Шеин Е.В., Банников М. В., Трошина О. В., Чуркина О. А. Температурное поле комплексного почвенного покрова на примере почвенного покрова Владимирского ополья // *Почвоведение*. 2009. №2. С.144-151.
15. Dale R.K., Miller D.C. Spatial and temporal patterns of salinity and temperature at an intertidal groundwater seep // *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2007. Vol.72., No1-2 P.283-298.
16. Mohanty B. P., van Genuchten M. Th., Klittich W. M., Horton R. Spatio-Temporal Variability of Soil Temperature within Three Land Areas Exposed to Different Tillage Systems // *SSSAJ*. 1995. Vol. 59, No.3. P.752-759. doi:10.2136/sssaj1995.03615995005900030017x
17. Redding T. E., Hope G. D., Fortin M. -J., Schmidt M. G., Bailey W. G. Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia // *Canadian J. of Soil Sci.* 2003. Vol.83, No1. P. 121 - 130
18. Seyfried M. Soil Temperature Variability in Complex Terrain Measured Using Fiber-Optic Distributed Temperature Sensing // *Vadose Zone J.* 2016. Vol. 15, Iss. 6. P. 1-18.
19. Ma S., Concilio A., Oakley B., North M., Chen J. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol.259, Iss.5 P. 904 915.
20. Tallon L. K. Spatial variability of thermal properties in reclamation cover system. Saskatoon. 2014. 191 p.

Поступила в редакцию 15.12.2017.;
принята 12.01.2018; опубликована 21.02.2018

Сведения об авторах:

Махатков Игорь Дмитриевич - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, makhatkov@mail.ru

Ермолов Юрий Викторович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия, ermolov.07@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/).

**SPATIAL VARIATION OF ROOT ZONE SOIL TEMPERATURE
IN THE NORTHERN TAIGA OF WEST SIBERIA**

© 2018 I.D. Makhatkov, Yu.V. Ermolov

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

Studies of soil heat regime are commonly confined to one vertical soil profile. Some studies on the basis of short-term temperature data series reported significant horizontal variation of topsoil horizons due to spatial variation in tree stand densities, plant cover and soil cover heterogeneity. Introduction of programmed automated temperature data loggers facilitated studies of horizontal heterogeneity in soil temperature, i.e. so called temperature fields with long temporal data series. However horizontal variation of soil temperature has not practically been studied in most Russian ecosystems, including those in the West Siberian northern taiga zone.

*The study of soil temperature regime was carried out in the environs of Noyabrsk (Yamalo-Nenetsky Autonomous Region, Russia) in the four key study sites: climax larch (*Larix sibirica* Ledeb.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests, and flat palsa mire (separately palsa and adjacent hollow). On each study site automated temperature data loggers were used in 5 replicated subsites to measure soil temperature with 0.5°C and record it every 4 hours, i.e. at 1, 5, 9, 13, 17 and 21 o'clock, daily. The loggers were placed at 10 cm soil depth in the root zone. The data from the meteorological station in Noyabrsk were also used in the study. The standard deviation of temperature values, recorded in a study site at one time point, was used as a measure of temperature variation.*

In all study sites the maximal temperature variation was observed at the beginning of the warm season. In both forest sites soil temperature began varying already after snow thawed, which was most likely due to the heterogeneity of vegetation cover and forest litter; in the pine site soil the heterogeneity of direct solar radiation as a result of the crown shadowing also contributed to temperature variation. The biggest soil temperature variation during this period was observed at the pine forest site, with difference between simultaneous replicated measurements reaching at certain time points as much as 9.6°C. In the larch study site the corresponding difference in June did not exceed 7-8°C.

The minimal spatial variation of soil temperature in the root zone was observed in hollows of the flat palsa mire site, most likely due to the absence of the microrelief influence and high water saturation. The highest standard deviation values were observed during snow thawing at the beginning of May, when temperature difference between replicated measurements could be as high as 9.5°C. In June soil temperature variation decreased, staying low during the rest of the year.

The palsa soil temperature at the flat palsa mire site and its variation in winter time showed strong response to changing air temperature. This winter variability was most likely due to unevenness of the snow cover thickness, resulting from the pronounced surface microrelief. During snow thawing period the root zone temperature varied less, apparently because of even penetration and distribution of snowmelt water throughout the studied soil layer. Rapid soil warming resulted in increased temperature variability, which remained high during entire summer and the beginning of autumn, with differences between replicates being as high as 10.1°C. Summer variability of soil temperature at this site could be attributed to the permafrost layer, which in different microrelief positions is located at different depth as related to the root zone, thus exerting different influence on the temperature of the soil layers above.

The most pronounced effect of diurnal fluctuations of root-zone temperature on its spatial variability was observed in pine forest during entire summer period, whereas on the palsa mire ecosystem it was observed at the beginning of summer during intensive thawing of the seasonally frozen layer.

Key words: soil, root zone, temperature, variability, northern taiga

How to cite: Makhatkov I.D., Ermolov Y.V. Spatial variation of the root zone soil temperature in the northern taiga of West Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(1): 16-24. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Benkova V.E., Zyryanova O.A., Shashkin A.V., Benkova A.V., Sobachkin D.S., Siman'ko V.V., Zyryanov V.I. Influence of spatial mosaic of moss-lichen cover on radial growth of Gmelin larch (Central Evenkia), *Lesovedenie*. 2014, № 4, p.41-49 (in Russian).
2. Demakov Yu.P., Isaev A.V. Spatial change in soil temperature in the dry and floodplain biogeocoenoses, *Scientific works of the reserve "Bolshaya Kokshaga"*, 2013, Iss. 63, p. 39-47 (in Russian).

3. Ilyina I.S., Lapshina E.N., Lavrenko N.N. The vegetation cover of the West Siberian Plain. *Novosibirsk: Nauka*, 1985. 252 p. (in Russian).
4. Katz N.Ya. Types of swamps of the USSR and Western Europe and their geographical distribution. M. Geografiz. 1948, 320 p. (in Russian).
5. Kozhabekova A.Zh., Bopambekov D.I. Dynamics of soil surface temperature in the shadow of saxaul and in the open area, *Science and Peace*, 2014, Vol.1., No3(7), p. 237-238. (in Russian).
6. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Ju., Shvedchikova N.K. Swamp systems of Western Siberia and their conservation role. Tula: Grif and K, 2001. 584 p.
7. Novikova V.A. Analysis of the relationship between soil temperature and vegetation cover in the sandy steppe (Dniprovsko-Orelesky Nature Reserve), *Biologicheskii visnik MDPU named by Bogdan Khmel'nitskii*, 2016, Vol.6, No2, p. 5-13. (in Russian).
8. Natural regimes of the middle taiga of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1977. 300 p. (in Russian).
9. Ryspekov, T.R. Dependence of the soil thermometers data on their location relative to genetic soil cracks in the steppe zone of Kazakhstan, *Hydrometeorology and ecology*, 2012, No1, p. 88-97. (in Russian).
10. Smolentsev B.A. The structure of the soil cover of the Siberian Uval Rige (the north-taiga subzone of Western Siberia). Novosibirsk: Publishing house of the SB RAS, 2002. 118 p. (in Russian).
11. Khozaynova N.V. Flora and vegetation of the northern taiga of the Purovsky District of the Tyumen Region (north of Western Siberia), *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*, 2008, Iss.8, p. 27-42. (in Russian).
12. Khozaynova N.V., Alekseeva N.A. Flora and vegetation of river Vengayaha basin (Tyumen region), *Bulletin of Tyumen State University. Socio-economic and legal research*, 2007, No6, p.158-164. (in Russian).
13. Shalatonov E.N. Spatial organization of vegetation cover in the area of Lake Numto (Khanty-Mansi Autonomous Okrug - Ugra), *Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Studies*, 2011, T.12, p. 77-80 (in Russian).
14. Shein E.V. The temperature field of the complex soil cover exempld on the soil cover of the Volodymyr opopie, *Pochvovedenie*, 2009, No2, p. 144-151 (in Russian).
15. Dale R.K., Miller D.C. Spatial and temporal patterns of salinity and temperature at an intertidal groundwater seep, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, Vol.72, No1-2, p. 283-298.
16. Mohanty B. P., van Genuchten M. Th., Klittich W. M., Horton R. Spatio-Temporal Variability of Soil Temperature within Three Land Areas Exposed to Different Tillage Systems, *SSSAJ*, 1995, Vol. 59, No.3, p.752-759. doi:10.2136/sssaj1995.03615995005900030017x
17. Redding T. E., Hope G. D., Fortin M. -J., Schmidt M. G., Bailey W. G. Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia, *Can. J. of Soil Sci.*, 2003, Vol.83, No1, p. 121-130.
18. Seyfried M. Soil Temperature Variability in Complex Terrain Measured Using Fiber-Optic Distributed Temperature Sensing, *Vadose Zone J.*, 2016, Vol. 15, Iss. 6, p.1-18.
19. Ma S., Concilio A., Oakley B., North M., Chen J.. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments, *Forest Ecology and Management*, 2010, Vol.259, Iss.5, p. 904-915.
20. Tallon L. K. *Spatial variability of thermal properties in reclamation cover system*. Saskatoon. 2014. 191 p.

Received 15 December 2017;
accepted 12 January 2018; published 21 February 2018

About the authors:

Makhatkov Igor D. - PhD in Biology, senior researcher of Laboratory of Soil Geography and Genesis of Institute of Soil Science and Agrochemistry of RAS, Novosibirsk city, Russia, makhatkov@mail.ru

Ermolov Yury V. - PhD in Biology, senior researcher of Laboratory of Biogeochemistry of Institute of Soil Science and Agrochemistry of RAS, Novosibirsk city, Russia, ermolov.07@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/).

**ФОРМЫ КАЛИЯ В ПОЧВЕ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

© 2018 В.Н. Якименко

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

В статье показана необходимость разделения общего пула калия в почве на отдельные фракции; обосновываются подходы к выделению различных калийных форм и приводятся методы их определения; предложена расширенная классификация форм калия в почве на основе прочности связи его катионов с почвенными минералами.

Ключевые слова: калий в почве, формы калия, методы экстракции, классификация форм калия в почве

Цитирование: Якименко В.Н. Формы калия в почве и методы их определения // Почвы и окружающая среда. № 1(1). С. 25-31

Общее содержание калия в почвах почти целиком определяется количеством и качеством почвенных калийсодержащих минералов, основные из которых показаны в табл. 1, а также степенью их выветренности. Однако валовое содержание элемента не характеризует те его количества, которые могут активно участвовать в биохимических циклах в системе почва-растение. В проведенных ранее исследованиях было показано отсутствие корреляции между валовым калием и его фракциями, экстрагируемыми из почвы используемыми растворителями (Якименко, 2003; и др.), что связано, прежде всего, с неодинаковыми позициями, занимаемыми ионами калия в структуре различных минералов. Все калийсодержащие минералы могут, в той или иной степени, служить непосредственными источниками калийного питания растений. В опыте О.А. Репиной (1978) с использованием полевых шпатов (ортоклаза и микроклина) в качестве источника питания растений калием величина частиц (от < 0,001 до 0,01 мм) не влияла на урожай (травы), вынос и коэффициент использования (5-7%) калия. В других исследованиях (Важенин, Карасева, 1959а) из микроклина илистой фракции было вынесено кукурузой и овсом 28% общего калия, а из фракций песка и пыли 1-3%; плохо, независимо от степени измельчения, усваивался калий из полевых шпатов травами в вегетационных опытах А.В. Петербургского и А.В. Кузнецова (1972).

Таблица 1. Основные калийсодержащие минералы (Барбер, 1988)

Минерал	Формула	Содержание К, %
Полевые шпаты		
Микроклин	$K_2AlSi_3O_8$	13,8
Ортоклаз	$K_2AlSi_3O_8$	13,7
Слюды		
Мусковит	$K_2Al_2Si_6Al_4O_{20}(OH)_4$	9,8
Биотит	$K_2Al_2Si_6(Fe^{2+}, Mg)_6O_{20}(OH)_4$	8,7
Глины		
Иллит (гидрослюда)	$K_{0,6}Mg_{0,25}Al_{2,3}Si_{3,5}O_{10}(OH)_2$	~ 7

Во всех исследованиях доступность калия слюд и гидрослюд была значительно выше. Коэффициент использования калия из слюд доходил до 39,2% (Репина, 1978), причем слюды (мусковит, биотит, флогопит) хорошо обеспечивали растения калием при размере фракции от илистой до песчаной (Важенин, Карасева, 1959а; Петербургский, Кузнецов, 1972). Глинистые минералы (иллит, глауконит) могут в некоторых случаях вообще использоваться в качестве калийных удобрений (Грим, 1967).

В целом из частиц одинакового размера относительная скорость высвобождения калия возрастает в ряду: микроклин < ортоклаз < мусковит < биотит (MacLean, Brydon, 1963; Горбунов, 1978; Пчелкин, 1966; Барбер, 1988; Середина, 2012; и др.).

Размеры высвобождаемого калия зависят не только от общего количества конкретного минерала, но и от содержания в нем калия, связанного со степенью выветренности. Так, на конечных стадиях выветривания минералов практически нет различий в общем содержании калия в илистых и песчаных фракциях слюд и гидрослюд ([The role..., 1968](#)).

Таким образом, определенные количества разных минералов могут обеспечить одинаковое общее количество калия в субстрате, но условия калийного питания растений при этом будут совершенно различными. Доступность растениям калия определяется, прежде всего, прочностью его связи с минеральной основой почвы. Позиции, занимаемые ионами калия в почвенных носителях этого элемента, по возрастанию степени энергии связи можно классифицировать следующим образом:

а) калий, адсорбированный на минеральных и органоминеральных коллоидных частицах почвенного поглощающего комплекса (ППК). Обменные катионы удерживаются вокруг внешних краев кремнезем-глиноземных элементов структурных слоев глинистых минералов с различной энергией, которая зависит от положения адсорбированного катиона на поверхности минерала ([Грим, 1967](#)), концентрации ионов и др. По степени селективности к калию выделяют три типа обменных позиций ([Barber et al., 1963](#); [Becket, 1964](#); [Rich, Black, 1964](#), [Nemeth et al., 1970](#); и др.): р (planar, внешние поверхности кристаллитов), е (edge, боковые сколы и клинообразные (wedge-shaped) межпакетные промежутки), і (interlattice, краевые зоны расширенных межпакетных промежутков трехслойных минералов) позиции. Прежде всего растения используют экстрамицеллярно поглощенный калий с обменных позиций (planar) с меньшей энергией связи. Интрамицеллярно поглощенный калий занимает высокоселективные (edge и, особенно, interlattice) к нему позиции и в гораздо меньшей степени доступен растениям;

б) калий, необменно поглощенный (не экстрагируется раствором нейтральной соли) межслоевым пространством почвенных минералов с расширяющимся типом решетки монтмориллонитового типа. Поглощенные катионы, проникающие между силикатными слоями этих минералов, переходят в менее подвижную форму, по сравнению с обменной, при сжатии решетки ([Горбунов, 1978](#)). Данная реакция, как правило, обратима при гидратировании коллоидов катионы могут снова переходить в раствор;

в) калий, расположенный в межплоскостном пространстве глинистых минералов с ненабухающей решеткой (гидрослюды). Ионы калия уравнивают дефицит заряда, вызванный изоморфными замещениями внутри кристаллической решетки, и поэтому удерживаются электростатическими силами достаточно прочно ([Грим, 1967](#)). Удаление данного калия будет устранять силы, связывающие между собой силикатные слои, и вызовет деградацию гидрослюды в минерал монтмориллонитового типа;

г) калий, входящий в кристаллическую структуру минералов с листовой решеткой (слюды);

д) калий минералов с каркасным типом кристаллической решетки (полевые шпаты).

В силу того, что валовой калий является индифферентным показателем обеспеченности выращиваемых культур этим элементом, возникает необходимость разделения общего калийного запаса на ряд фракций, лучше характеризующих условия питания растений. В этом направлении предпринимались многочисленные попытки, причем в основу подразделения ставились весьма различные показатели.

Одна из первых классификаций форм валового калия принадлежит К.К. Гедройцу ([1935](#)) и выглядит следующим образом: 1) калий почвенного раствора; 2) калий почвенно-поглощающего комплекса: а) интенсивно обменивающийся; б) экстенсивно обменивающийся; 3) калий почвенного скелета. Этот принцип построения лег в основу многих последующих разработок.

Выделение форм калия по неким абстрактным признакам активный - неактивный, доступный - недоступный, извлекаемый - неусвояемый, растворимый - нерастворимый и т.п. не нашло широкого применения.

Вообще следует отметить, что определения калия “доступный”, “усвояемый”, “подвижный” весьма условны; при рассмотрении уровня калийного питания растений, может быть, и допустимо вольное их использование, но при изучении калийного режима почв они неприемлемы. Термины “усвояемый” и “доступный” калий имеют смысл только в связи с конкретной культурой в определенных условиях ее выращивания. Подвижность это свойство ионов калия переходить из одного состояния, более прочно связанного с минеральной основой почвы, в другое, с меньшей степенью связи; подвижность является качественным признаком, характеризующим все формы калия.

Наиболее удачные, на наш взгляд, классификации форм почвенного валового калия сделаны И.Г. Важениным и Г.И. Карасевой (1959а):

- 1) калий почвенного раствора;
- 2) калий почвенно-поглощающего комплекса:
 - а) интенсивно обменивающиеся ионы,
 - б) экстенсивно обменивающиеся ионы,
 - в) необменные ионы;
- 3) калий почвенного скелета:
 - а) экстенсивно обменивающиеся ионы,
 - б) необменные ионы;
- 4) калий органических остатков в почве;

а также В.У. Пчелкиным (1966): 1) водорастворимый; 2) обменный; 3) труднообменный; 4) необменный; 5) калий нерастворимых силикатов; 6) калий органической части почвы. Подобный принцип деления используется и в большинстве зарубежных разработок (Rich, 1968; Кук, 1970; Soil..., 1973; Sparks, Huang, 1985; Bertsch, Thomas, 1985; и др.): 1) калий почвенного раствора; 2) обменный; 3) необменный; 4) минеральный (структурный).

По-видимому, подразделение форм калия на (а) водорастворимую (почвенного раствора) и (б) почвенно-поглощающего комплекса довольно условно, т.к. между двумя этими фазами происходит непрерывное взаимодействие. Выделение водорастворимого калия может быть оправдано лишь как показатель наиболее подвижной фракции обменного калия. Связанный с гумусом калий органической части почвы, в силу очень небольших величин, имеет, в основном, теоретическое значение.

Довольно перспективно деление общего запаса калия в почвах на резервы по приуроченности к тем или иным почвенным калийсодержащим минералам, предпринятое Н.И. Горбуновым (1978): 1) источники питания (растворимые соли); 2) непосредственный резерв (обменные катионы, малорастворимые соли); 3) ближний резерв (гидрослюды, вермикулит, монтмориллонит, необменные катионы); 4) потенциальный резерв (полевые шпаты, слюды). Непосредственный резерв составляет калий, извлекаемый солевыми вытяжками; ближний калий, находящийся в илистой фракции; потенциальный содержащийся в частицах $> 0,001$ мм.

Подразделение почвенного калия на формы по прочности связи позволяет дать лишь качественную оценку калийного статуса почвы с учетом масштабов носителей той или иной формы. Для целей диагностики калийного питания растений необходимо количественное выражение различных фракций калия.

Количественное определение содержания форм калия можно получить, используя различные по интенсивности воздействия на почву вытяжки, извлекающие, соответственно, катионы с различных по энергии связи позиций. Существует более 150 методов извлечения фракций почвенного калия (Прокошев, Дерюгин, 2000), авторы которых приводят определенные доводы в пользу предлагаемого экстрагента; поэтому выбор наиболее надежных методов почвенной калийной диагностики представляется непростой задачей.

Основная часть калия почвы входит в кристаллическую структуру полевых шпатов. Для перевода в раствор всех почвенных алюмосиликатов их обычно разлагают смесью плавиковой и серной кислот или спекают при высокой температуре с углекислым кальцием и хлористым аммонием. Определенное этими методами количество калия представляет собой его валовое содержание в почве, которое с точки зрения обеспеченности элементом выращиваемых культур характеризует лишь общий, потенциальный почвенный калийный запас.

Содержание в почве обменного калия до настоящего времени является основным, а часто и единственным показателем, по которому судят об уровне калийного питания растений. Поэтому большинство из существующих методов определения почвенного калия направлено на экстрагирование этой формы.

Наибольшее распространение среди исследователей, как в нашей стране, так и за рубежом имеет метод определения обменного калия в вытяжке $1M$ CH_3COONH_4 (в России известный как метод Масловой). Основанием для его использования является близость ионных радиусов аммония и калия, в результате чего NH_4^+ может хорошо замещать K^+ в почвенно-поглощающем комплексе (Якименко, 2003, 2009). Сравнительный анализ многочисленных способов определения обменного калия, проведенный И.Г. Важениным и Г.И. Карасевой (1959б), показал преимущество данного метода.

В системе Агрохимслужбы России обменный калий экстрагируют тремя методами: 1) 0,2М HCl для подзолистых почв (метод Кирсанова); 2) 0,5М CH₃COOH для некарбонатных почв (метод Чирикова); 3) 1% (NH₄)₂CO₃ для карбонатных почв (метод Мачигина), во многом, из-за возможности определения в этих же вытяжках фосфора.

Наиболее подвижную часть обменного калия (легкообменный) извлекают слабыми (0,0015-0,01М) солевыми растворами, чаще всего, CaCl₂ (Woodruff, McIntosh, 1961; Карпинский, 1965; Голубева, 1969). Считается, что ионы кальция вытесняют калий, в основном, с неспецифических (планарных) позиций.

Возможности пополнения обменного калия из резерва необменной формы В.У. Пчелкин (1966) предложил оценивать с помощью 2М HCl. В основу данного метода лег принцип различной растворимости минералов. Вытяжки 0,2М и 2М HCl извлекают одинаковое количество калия из минералов с трудной растворимостью (полевой шпат, мусковит); в биотите, гидрослюдах, монтмориллоните калий более подвижен разница между указанными вытяжками значительна. По мнению В.У. Пчелкина, калий, переходящий в вытяжку 2М HCl, соответствует необменно поглощенной форме элемента. Однако, как видим, количество экстрагируемого калия и диагностические возможности метода определяются особенностями минералогического состава почв. Так, если И.Г. Важенин, Г.И. Карасева (1959а), В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин (2000) высоко оценивают солянокислую вытяжку, то в исследованиях О.П. Медведевой (1973) удобренные и неудобренные почвы мало отличались по количеству калия, извлекаемому 2М HCl метод давал ненадежные результаты.

По данным О.П.Медведевой (1987) для определения необменного калия широко используется вытяжка 1М HNO₃ (Pratt, Morse, 1954). Количество калия, извлекаемое этим экстрагентом, примерно соответствует выносу элемента растениями в условиях истощающей культуры (Медведева, 1978; Ониани, 1981; Барбер, 1988). Этот метод сравнительно прост и дает хорошо воспроизводимые результаты. Предусмотренное в методе кипячение почвы с раствором способствует разрушению основной части глинистых частиц, в результате чего экстрагируется не только калий минералов с лабильной решеткой, но и жестких структур. Для извлечения необменного калия применяется также кипящий 2М (по Важенину) или 10% (по Гедройцу) раствор HCl.

Таблица 2. Классификация форм почвенного калия (Якименко, 2003)

Формы К и их подразделение		Почвенные носители форм К	Занимаемые позиции	Возможные экстрагенты
Обменный К	Легкообменный, в т.ч. почвенного раствора (экстрамицеллярно поглощенный)	Высокодисперсная минеральная фракция и органическое вещество	Внешние грани минералов и органическое вещество	0,0015 0,01М CaCl ₂ 1М CH ₃ COONH ₄
	Труднообменный (интрамицеллярно поглощенный)		Краевые зоны межпакетных промежутков кристаллитов	
Необменный К	Необменно поглощенный	Глинистые минералы с подвижным типом решетки (монтмориллонит, вермикулит)	Межслоевое пространство минералов	2М HCl 1М HNO ₃ , 2М или 10% HCl с кипячением
	Необменный	Глинистые минералы со стабильной решеткой (гидрослюды)		
Калий почвенного скелета	Структурный	Первичные минералы с листовой решеткой (слюды)	В структуре минералов	H ₂ SO ₄ концентрированная H ₂ SO ₄ + HF
	Матричный	Первичные минералы с каркасной решеткой (полевой шпат)	В кристаллической решетке	

Многочисленные опыты с чистыми минералами, используемыми в качестве источника калийного питания, показали, что растения могут достаточно эффективно усваивать калий, содержащийся в слюдах. Этот калий по своему положению в кристаллической структуре принципиально подобен калию, входящему в состав трехслойных глинистых минералов. Однако, меньшие дисперсность и гидратированность слюд обеспечивают более прочную связь элемента с матрицей. Оценить запасы этой формы калия можно, используя в качестве экстрагента концентрированные сильные кислоты или их крепкие растворы. По данным Р. Грима (1967) при обработке в течение 2 часов в 50% растворе HCl при температуре 80-85 °С растворимость минералов (катионная растворимость) составляет (в %): биотита 100, мусковита 5-32, галлуазита 6-15, каолинита 10, монтмориллонита 62; а при обработке в таких же условиях серной кислотой наблюдается полное растворение всех указанных минералов. Определение почвенных запасов калия при экстрагировании серной кислотой высоко оценено в ряде работ (Hunter, Pratt, 1957; Барбер, Хамберт, 1965).

Наиболее распространенные методы определения почвенного калия подробно описаны И.Г. Важениным (1975).

Следует подчеркнуть, что более сильный экстрагент извлекает и калий, переходящий в относительно слабые вытяжки. Например, в вытяжку 2М HCl, наряду с необменно поглощенным калием почвы, переходит и обменная форма элемента. Поэтому при необходимости определения конкретной формы калия обычно используют метод разности.

По обобщенным литературным данным и нашим представлениям о характере взаимодействия ионов калия с минеральной основой почв (Якименко, 2003), подразделение валового почвенного калия на формы можно изобразить в следующем виде (табл. 2).

Таким образом, несоответствие валового содержания калия в почвах и условий питания растений обуславливает необходимость выделения форм этого элемента как для диагностики обеспеченности выращиваемых культур, так и для мониторинга калийного состояния почв. Наиболее целесообразной основой классификации является прочность связи элемента с твердой фазой почвы, что выражается в степени проявления физико-химических процессов (адсорбция, фиксация, замещения в кристаллической решетке) и ассоциированности с носителем (преимущественно минеральным) той или иной формы калия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барбер С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
2. Барбер С.А., Хамберт Р.П. Достижения в познании связей калия в почве и растениях // Удобрения. М.: Колос, 1965. С. 249-281.
3. Важенин И.Г., Карасева Г.И. О формах калия в почве и калийном питании растений // Почвоведение. 1959а. № 3. С. 11-21.
4. Важенин И.Г., Карасева Г.И. Об агрохимических методах определения подвижных форм калия в почве // Почвоведение. 1959б. № 8. С. 87-91.
5. Важенин И.Г. Методы определения калия в почве // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 191-218.
6. Гедройц К.К. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение. М., Л.: Сельхозгиз, 1935. 343 с.
7. Голубева А.П. Определение степени подвижности обменного калия // Пособие по проведению анализов почв и составлению агрохимических картограмм. М.: Россельхозиздат. 1969. С. 70-74.
8. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. М.: Наука, 1978. 293 с.
9. Грим Р. Минералогия и практическое использование глин. М.: Мир, 1967. 510 с.
10. Карпинский Н.П. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистых почв // Действие удобрений на урожай и его качество. М.: Колос, 1965. С. 288-308.
11. Кук Д.У. Регулирование плодородия почвы. М.: Колос, 1970. 520 с.
12. Медведева О.П. Использование 2 Н раствора HCl для извлечения фиксированного почвой калия удобрений // Агрохимия. 1973. № 11. С. 123-130.
13. Медведева О.П. Об индексах оценки обеспеченности растений доступным калием // Агрохимия. 1978. № 11. С. 35-39.
14. Медведева О.П. К вопросу оценки обеспеченности растений доступным калием // Агрохимия. 1987. № 1. С. 116-138.
15. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999. 332 с.
16. Носов В.В., Соколова Т.А., Прокошев В.В., Исаенко М.А. Изменение некоторых показателей калийного состояния дерново-подзолистых почв под влиянием применения калийных удобрений в длительных опытах // Агрохимия. 1997. №5. С. 13-19.
17. Ониани О.Г. Агрохимия калия. М.: Наука, 1981. 200 с.

18. Петербургский А.В., Кузнецов А.В. О доступности растениям калия почвенных минералов // *Изв. ТСХА*. 1972. Вып.6. С. 97-104.
19. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
20. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. М.: Колос, 1966. 336 с.
21. Ретина О.А. Калий в серых лесных почвах в связи с питанием растений и применением удобрений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1978. 18 с.
22. Середина В.П. Калий и почвообразование. Томск: Изд-во ТГУ, 2012. 354 с.
23. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
24. Якименко В.Н. К вопросу оценки калийного состояния почв агроценозов // *Плодородие*. 2009. № 4. С.8-10.
25. Barber S.A., Walker J.M., Vasey E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root // *Agric. Food Chemistry*. 1963. Vol. 11. P. 204-207.
26. Beckett P.H.T. Studies on soil potassium // *J. Soil Sci*. 1964. Vol. 15, No. 1. P.123.
27. Bertsch P.M., Thomas G.W. Potassium status of temperate region soils // *Potassium in agriculture*. Madison. Wisc., USA, 1985. P. 131-162.
28. Hunter A.H., Pratt P.F. Extraction of potassium from soil by sulfuric acid // *SSSAP*. 1957. Vol. 21. P.501-504.
29. MacLean A.J., Brydon J.E. Release and fixation of potassium in different size fractions of some Canadian soils as related to their mineralogy // *Can. J. Soil Sci*. 1963. Vol.43, №1. P.123-134.
30. Nemeth K., Mengel K., Grimme H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extracts in relation to exchangeable K, Ca and Mg // *Soil Sci*. 1970. Vol.109, №3. P.179-185.
31. Pratt P., Morse H. Potassium release from exchangeable and non-exchangeable forms in Ohio soils // *Ohio Agric. Exp. Sta. Bull*. 1954. P.747-754.
32. Rich C.I., Black W.R. Potassium exchange as affected by cation size, pH and mineral structure // *Soil Sci*. 1964. Vol. 97, №.6. P.384-390.
33. Rich C.I. Mineralogy of soil potassium // *The role of potassium in agriculture*. Madison. Wis., USA, 1968. P.79-108.
34. Soil testing and plant analysis. Madison. Wis., USA, 1973. 491 p.
35. Sparks D.L., Huang P.M. Physical chemistry of soil potassium // *Potassium in agriculture*. Madison. Wis., USA, 1985. P.201-276.
36. The role of potassium in agriculture. Madison. Wisc., USA, 1968. 508 p.
37. Woodruff C.M., McIntosh J.L. Testing soil for K // *Proc. 7-th Int. Congr. Soil Sci*. 1961. Vol.3. P. 80-85.

Поступила в редакцию 15.12.2017;
принята 29.01.2018; опубликована 30.01.2018

Сведения об авторе:

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, заведующий лабораторией агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, yakimenko@issa.nsc.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/).

POTASSIUM FORMS IN SOIL AND METHODS OF DETERMINATION

© 2018 V.N. Yakimenko

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

The article shows the necessity to divide soil total potassium pool into separate fractions to assess potassium availability to plants and justifies different approaches to recover various potassium forms from soil by extraction, describing extraction methods. The author proposes the extended system to classify soil potassium forms based on the strength of potassium binding to soil minerals.

Key words: soil potassium, potassium forms in soil, extraction methods, soil potassium forms classification

How to cite: Yakimenko V.N. Potassium forms in soil and methods of determination // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(1):25-31. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Barber S.A. Soil nutrient availability: A mechanistic approach, London, John Wiley, 1995, 384 p.
2. Barber S. A., Humbert R. P. Advances in knowledge of potassium relationships in the soil and plant in fertilizer technology and usage, Symposium Publ. by Soil Sci. Soc. Amer., Madison Wis., 1963.
3. Vazhenin I.G., Karaseva G.I. About potassium forms in soil and potassium nutrition of plants, *Pochvovedenie*, 1959a, No.3, p.11-21 (in Russian)

4. Vazhenin I.G., Karaseva G.I. About the agrochemical methods to determine labile potassium forms in soil, *Pochvovedenie*, 1959b, No.8, p.87-91 (in Russian)
5. Vazhenin I.G. Methods to determine potassium in soil. Agrochemical methods of soil analyses, Moscow, Nauka Pbs., 1975, p.191-218 (in Russian)
6. Hedroitz K.K. Soil complex, plant and fertilizer, Moscow, Leningrad, Selkhozgiz, 1935, 343 p. (in Russian)
7. Golubeva A.P. Estimating the degree of lability of exchangeable potassium. Manual to perform soil analyses and compose agrochemical cartograms, Moscow, Rosselkhozizdat, 1969, p.70-74 (in Russian)
8. Gorbunov N.I. Soil mineralogy and physical chemistry, Moscow, Nauka, 1978, 293 p. (in Russian)
9. Grim R. A. Clay mineralogy, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1968.
10. Karpinsky N.P. Agrochemical characterization of sod-podzolic soils. The effect of fertilizers on crop yield and its quality, Moscow, Kolos, 1965, p.288-308 (in Russian)
11. Cook D. Managing soil fertility, Moscow, Kolos, 1970, 520 p. (in Russian)
12. Medvedeva O.P. The use of 2N HCl solution to extract fertilizer potassium fixed in soil, *Agrochemistry*, 1973, No.11, p.123-130. (in Russian)
13. Medvedeva O.P. About available potassium supply to plants, *Agrochemistry*, 1987, No.1, p.116-138. (in Russian)
14. Medvedeva O.P. About the indices to assess available potassium supply to plants, *Agrochemistry*, 1978, No.11, p.35-39. (in Russian)
15. Mineev V.G. Agrochemistry and ecological functions of potassium. Moscow, MGU Pubs., 1999, 332 p. (in Russian)
16. Nosov V.V., Sokolova T.A., Prokoshev V.V., Isaenko M.A. Changes in some indicators of potassium status of sod-podzolic soils under potassium fertilization in long-term experiments, *Agrochemistry*. 1997, Iss.5, p.13-19 (in Russian)
17. Oniani O.G. Potassium agrochemistry, Moscow, Nauka, 1981, 200 p. (in Russian)
18. Peterburgsky A.V., Kuznetsov A.V. About about potassium availability from soil minerals to plants, *Proc. of the Timiryazev Agricultural Academy*, 1972, No.2, p.97-104. (in Russian)
19. Prokoshev V.V., Derugin I.P. Potassium and potassium fertilizers, Moscow, Ledum, 2000, 185 p. (in Russian)
20. Pchelkin V.U. Soil potassium and potassium fertilizers, Moscow, Kolos, 1966, 336 p. (in Russian)
21. Repina O.A. Potassium in grey wooded soils in relation to plant nutrition and fertilization, Summary of the cand.biolog.sci. dissertation, Moscow, 1978, 18 p. (in Russian)
22. Seredina V.P. Potassium and soil formation, Tomsk, Tomsk State University Pbs., 2012. 354 p. (in Russian)
23. Yakimenko V.N. Potassium in West Siberian Agrocoenoses, Novosibirsk, SB RAS, 2003, 231 p. (in Russian)
24. Barber S.A., Walker J.M., Vasey E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root, *Agric. Food Chemistry*, 1963, Vol.11, p.204-207.
25. Beckett P.H.T. Studies on soil potassium, *J. Soil Sci.*, 1964, Vol. 15, No.1, p.123.
26. Bertsch P.M., Thomas G.W. Potassium status of temperate region soils, *Potassium in agriculture*. Madison, Wisc., USA, 1985. P. 131-162.
27. Hunter A.H., Pratt P.F. Extraction of potassium from soil by sulfuric acid, *SSSAP*, 1957, Vol. 21, p.501-504.
28. MacLean A.J., Brydon J.E. Release and fixation of potassium in different size fractions of some Canadian soils as related to their mineralogy, *Can. J. Soil Sci.*, 1963, Vol.43, No.1, p.123-134.
29. Nemeth K., Mengel K., Grimme H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extracts in relation to exchangeable K, Ca and Mg, *Soil Sci.*, 1970, Vol.109, No.3, p.179-185.
30. Pratt P., Morse H. Potassium release from exchangeable and non-exchangeable forms in Ohio soils, *Ohio Agric. Exp. Sta. Bull.*, 1954, p.747-754.
31. Rich C.I., Black W.R. Potassium exchange as affected by cation size, pH and mineral structure, *Soil Sci.*, 1964, Vol.97, No.6, p.384-390.
32. Rich C.I. Mineralogy of soil potassium, *The role of potassium in agriculture*. Madison, Wis., USA, 1968. P.79-108.
33. Soil testing and plant analysis, Madison, Wis., USA, 1973. 491 p.
34. Sparks D.L., Huang P.M. Physical chemistry of soil potassium, *Potassium in agriculture*, Madison, Wis., USA, 1985, p.201-276.
35. The role of potassium in agriculture, Madison, Wisc., USA, 1968. 508 p.
36. Woodruff C.M., McIntosh J.L. Testing soil for K, *Proc.7-th Int. Congr. Soil Sci.*, 1961, Vol.3, p. 80-85.

Received 15 December, 2017; accepted 29 January 2017; published 30 January 2018

About the author:

Yakimenko Vladimir N. - Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk city, Russia, yakimenko@issa.nsc.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/)



ЦИФРОВОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ ПАХОТНЫХ ПОЧВ ПРЕДСАЛАИРСКОЙ ДРЕНИРОВАННОЙ РАВНИНЫ

© 2018 Н.В. Гопп ¹, Т.В. Нечаева ¹, О.А. Савенков¹, Н.В. Смирнова ¹, В.В. Смирнов²,
А.В. Смирнов³

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090, Россия, E-mail: natalia.gopp@gmail.com

²ФГБУН Институт вычислительных технологий СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: valentiv.smirnov@gmail.com

³Алтайский государственный университет, проспект Ленина, 61, Барнаул, 656049, Россия. E-mail: sanya.smirnov.fantom@gmail.com

Разработана методология построения цифровых карт степени окультуренности пахотных почв с использованием относительных индексов агрохимических свойств (рН солевого, содержания гумуса, подвижного фосфора, обменного калия). Проведена сравнительная оценка степени окультуренности сильногумусированных почв (агрочерноземов) распространенных на высотах 280-310 м со среднегумусированными (агрочерноземами, агротемно-серыми и агросерыми) на высотах 190-280 м. Степень окультуренности почв средняя, независимо от их гумусированности и типовой принадлежности. Показано, что индексы окультуренности сильно- и среднегумусированных почв характеризуются близкими значениями, что связано с более высоким содержанием подвижного фосфора по Чирикову в менее гумусированных почвах. В среднегумусированных почвах по сравнению с сильногумусированными были выявлены различия в содержании гумуса (ниже в 1.7-2.2 раза), подвижного фосфора по Чирикову и по Николову (в среднем выше в 2.0 и 1.3 раза соответственно), обменного калия (в среднем ниже в 1.2 раза). Установлена положительная корреляционная связь запасов надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси с содержанием в почвах легкоподвижного фосфора по Карпинскому-Замятиной ($r_s=0.41$) и подвижного фосфора по Николову ($r_s=0.33$).

Ключевые слова: гумус, рН, легкоподвижный и подвижный фосфор, обменный калий, запасы надземной фитомассы, агрочернозем, агротемно-серая, агросерая, цифровое картографирование.

Цитирование: Гопп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В., Смирнов А.В. Цифровое картографирование степени окультуренности пахотных почв Предсалаирской дренированной равнины // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(1). С.32-44

ВВЕДЕНИЕ

Одним из критериев оценки пригодности сельскохозяйственных земель для возделывания культур может служить степень окультуренности почв. Кулаковская Т.Н. (1990) рекомендует использовать обобщенный показатель степень окультуренности, при расчете которого рН солевой, содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия в почве выражаются в относительных величинах с учетом минимального и оптимального значений этих показателей и потребности возделываемых культур в элементах минерального питания.

Значительное пространственное варьирование агрохимических свойств, особенно на эрозионно опасных склонах (Каштанов, Явтушенко, 1997; Дубовик Е., Дубовик Д., 2013; Якутина и др., 2011; Савич и др., 2015; Гопп и др., 2016а, б), оказывает существенное влияние на такой интегральный показатель, как степень окультуренности почв, что обуславливает необходимость разработки методов цифрового тематического картографирования, как количественных, так и качественных почвенных характеристик. Наличие в хозяйствах цифровых тематических карт позволит определить географическое расположение почвенных ареалов с дефицитом тех или иных элементов питания и оценить пригодность почв для возделывания сельскохозяйственных культур.

Цели исследования: 1 - разработать методологический подход построения цифровых карт относительных индексов агрохимических свойств и степени окультуренности пахотных почв с использованием формул Т.Н. Кулаковской; 2 - сравнить агрохимические свойства сильно- и среднегумусированных почв, их относительные индексы (I_{pH} , $I_{гумус}$, $I_{фосфор}$, $I_{калий}$) и индекс окультуренности; 3 - выявить связь между агрохимическими свойствами почв и запасами надземной фитомассы (ЗНФ) овсяно-гороховой смеси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на территории Предсалаирской дренированной равнины юго-востока Западной Сибири (Новосибирская обл., Тогучинский район, с. Усть-Каменка), где пахотные почвы склонов в наибольшей степени подвержены эрозии (Танасиенко, 2003; Хмелев, Танасиенко, 2009). Согласно А.Д. Орлову (1983) район исследования представлен денудационно-аккумулятивным типом рельефа, характеризующимся большой глубиной вреза рек и балок (75-100 м) и существенной протяженностью склонов.

Обследованный участок пахотного угодья площадью 225 га и протяженностью 4 км находится в пределах водосборных бассейнов рек Ирба и Хайрузовка (рис.1). Координаты точек опробования определены с помощью системы геопозиционирования (GPS, Garmin eTrex Vista). Отбор индивидуальных почвенных проб ($n=57$) произведен буром из слоя 0-30 см (пахотный горизонт) по нерегулярной сетке. Почвенная съемка проведена в масштабе 1:5000 (Общесоюзная инструкция..., 1973).

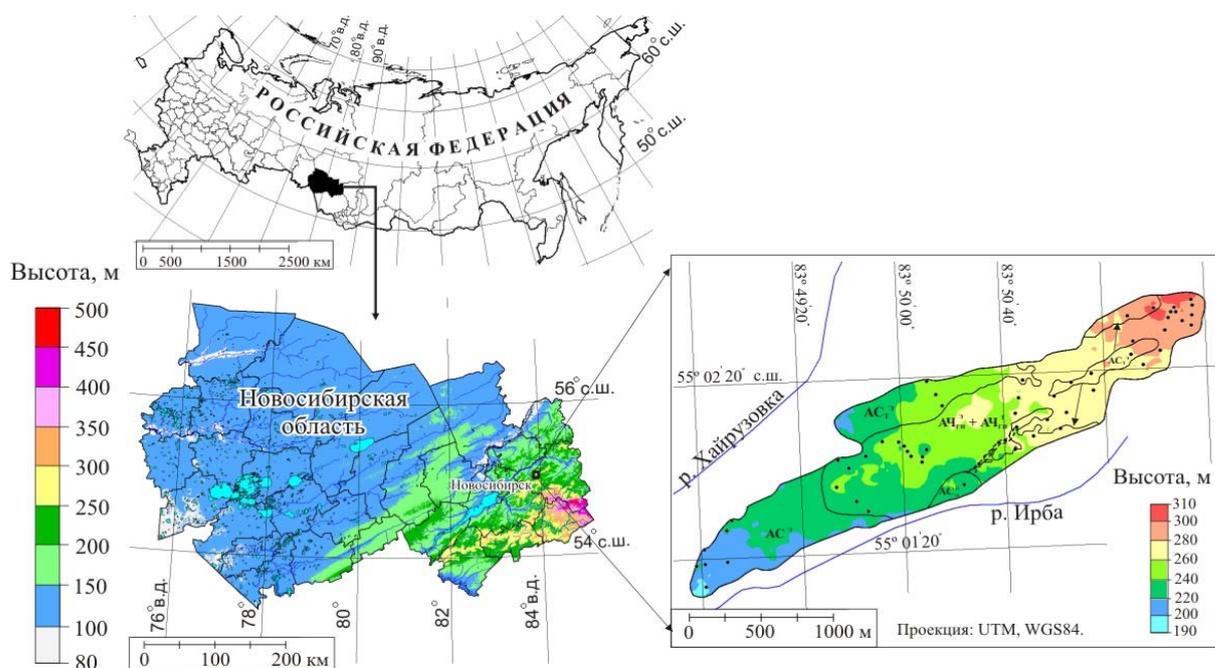


Рисунок 1. Карта территории исследования и схема отбора почвенных проб. Условные обозначения: сплошной линией показаны контуры почв, расположенные на разных гипсометрических уровнях; пунктирной расположено ложбины стока; точками схема отбора почвенных проб. Почвы (тип и подтип): $AC_{Гл}^Э + AC_{Гл}^Т$ агрочернозем глинисто-иллювиальный элювирированный в сочетании с агрочерноземом глинисто-иллювиальным темноязыковатым; $AC_T^Э$ агротемно-серая элювирированная; $AC^Э$ агросерая элювирированная; $AC_{Ст}^Б$ агростратозем темногумусовый водно-аккумулятивный на темно-серой элювирированной почве.

Согласно обобщенной классификации Т.В. Звонковой (1970) приводораздельные и придолинные склоны в большей степени покатые (уклон $2-5^0$) и в меньшей степени сильнопокатые (уклон $5-10^0$), что определяет значительную и сильную степень опасности развития эрозии соответственно (рис. 2). По карте направления стока было определено, что расстояние до сброса ливневых и талых вод в русла рек на высотах 280-310 м короче, чем на высотах 190-280 м, следовательно, почвы этой высотной ступени менее подвержены смыву.

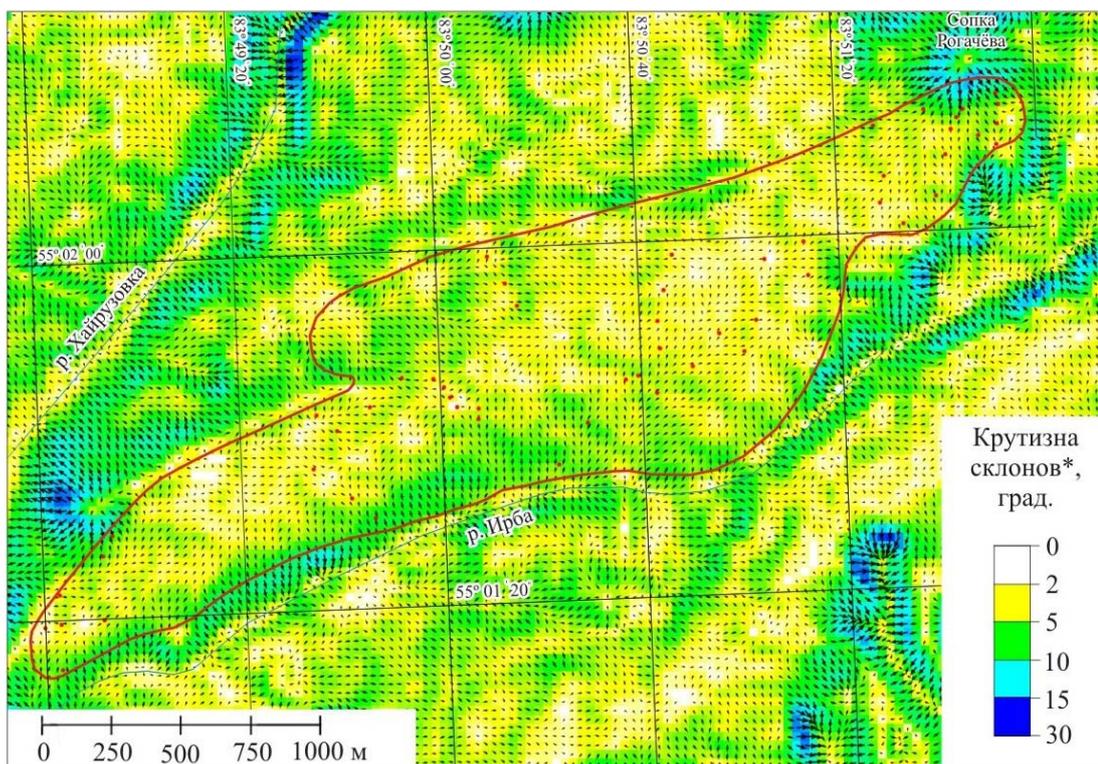


Рисунок 2. Карта крутизны склонов и направления стока (чем длиннее стрелки, тем больше значение крутизны склонов). * карта составлена на основе цифровой модели высот SRTM V3. (разрешение 30 м) с применением ступенчатой неравномерной шкалы.

На обследованной территории распространены следующие типы почв (табл. 1, рис. 1), диагностику которых осуществляли по классификации почв России (2004). Для сравнительной характеристики почвы по содержанию гумуса были разделены на две группы: сильногумусированные (преимущественно агрочерноземы) с содержанием гумуса 5-8 % и среднегумусированные (агрочерноземы, агротемно-серые и агросерые) с содержанием гумуса 3-5%. Сильногумусированные почвы расположены на высотах 280-310 м, среднегумусированные на 190-280 м.

Таблица 1. Почвы исследуемой территории

Название почв по классификации почв России (2004, 2008)	Формула профиля	Название почв по классификации WRB (2014)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювиированный насыщенный сильногумусированный тяжелосуглинистый (АЧ _{ГИ} ³)	PU-AUel-BI-BICca-Cca	Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювиированный насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый (АЧ _{ГИ} ³)	PU-AUel-BI-BICca-Cca	Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный темноязыковатый насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый (АЧ _{ГИ} ¹)	PU-AU-BIyu-BICca-Cca	Haplic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агротемно-серая элювиированная насыщенная среднегумусированная тяжелосуглинистая (АС _Г ³)	PU-AUel-BEL-BT-C	Luvic Greyzemic Phaeozems (Siltic, Aric)
Агросерая элювиированная ненасыщенная среднегумусированная тяжелосуглинистая (АС ³)	P-AEL-BEL-BT-C	Greyzemic Phaeozems (Siltic, Aric)
Агростратозем темногумусовый водно-аккумулятивный на темно-серой элювиированной почве насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый (АС _{ЗГ} ^В)	PU-RUaq-[AU-AEL]-BEL-BT-C	Greyzemic Phaeozems Colluvic (Siltic, Taptomollic)

Почвенные образцы проанализированы на содержание гумуса мокрым сжиганием по Тюрину, легкоподвижного фосфора по Карпинскому-Замятиной (экстрагент 0,015 М K₂SO₄), подвижного фосфора по Чирикову (экстрагент 0,5 М CH₃COOH) и по Николову (экстрагент 0,1 М NH₄OOCCH₂CH(OH)COONH₄), обменного калия по Масловой (экстрагент 1 М CH₃COONH₄), pH солевой суспензии потенциометрическим методом (Практикум ..., 2001).

Запасы надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси определены методом укусов с учетной площади 0,25 м² (с последующим высушиванием и взвешиванием) в тех же точках, где были взяты почвенные пробы. Необходимо отметить, что небольшая часть обследованного пахотного угодья была занята ячменем, поэтому объем выборки по ЗНФ овсяно-гороховой смеси n=39 (табл. 2).

Оценка значимости различий средних значений агрохимических параметров проведена с использованием *t*-критерия Стьюдента и *U*-критерия Манна-Уитни для нормально и ненормально распределенных данных соответственно. Оценка типа распределения проведена с помощью критерия Шапиро-Уилка.

По методике Т.Н. Кулаковской (1990) на первом этапе рассчитывают относительные индексы (I_{отн}) для каждого агрохимического свойства (I_{pH}, I_{гумус}, I_{фосфор}, I_{калий}) почвы по следующей формуле:

$$I_{отн} = \frac{X_{факт} - X_{мин}}{X_{опт} - X_{мин}} \quad (1),$$

где $X_{факт}$ фактическое значение показателя, $X_{мин}$ и $X_{опт}$ минимальное и оптимальное значения показателя для данной почвы.

Автором метода (Кулаковская, 1990) установлены следующие минимальные значения агрохимических показателей: pH_{KCL} 3,5, содержание гумуса 0,5%, подвижного фосфора (P₂O₅) и обменного калия (K₂O) по 2 мг/100 г почвы. За оптимальный уровень содержания гумуса и pH_{KCL} приняты значения свойств лучшей по качеству и урожайности почвы. В Новосибирской области такой почвой (эталон или стандартом) является чернозём выщелоченный (Тюменцев, 1979; Галева, Семендяева, 2012), для которого характерны следующие показатели: pH_{KCL} 6, содержание гумуса 8%. За условно оптимальное содержание подвижного фосфора и обменного калия в почвах лесостепи Западной Сибири при возделывании зерновых культур приняты следующие значения: P₂O₅ 20 мг/100 г (Аверкина, Синешкоков, Ткаченко, 2011), K₂O 30 мг/100 г (Якименко, Нечаева, 2016). Если величина фактического показателя агрохимических свойств выше оптимального значения, то их относительный индекс принимается за 1,0 (Кулаковская, 1990).

На втором этапе, используя рассчитанные I_{отн} для агрохимических свойств, вычисляют индекс окультуренности (I_{ок}) почв по следующей формуле:

$$I_{ок} = \frac{I_{гумус} + I_{pH} + I_{фосфор} + I_{калий}}{4} \quad (2)$$

По I_{ок} выделяют 4 степени окультуренности почв: очень низкая индекс менее 0,4, низкая 0,41-0,60, средняя 0,61-0,80, высокая 0,81-1,00 (Кулаковская, 1990).

Карты относительных индексов агрохимических свойств и индекса окультуренности почв составлены с использованием калькулятора растров (программное обеспечение ENVI), который позволяет производить математические операции с количественными параметрами пикселей геопривязанного растрового изображения в формате GeoTIFF. Значения относительных индексов агрохимических свойств в ячейках растра больше 1 (то есть фактическое содержание выше оптимального) были заменены с помощью разработанной программы ZChanger на новые значения индекса, которые равны единице. Основой для расчета карт относительных индексов агрохимических свойств почв послужили цифровые карты данных свойств, составленные с использованием геостатистических методов интерполяции.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе формулы 1 и цифровых карт агрохимических свойств почв построены карты относительных индексов рН солевого, содержания гумуса, подвижного фосфора по Чирикову и обменного калия (рис. 3). Варьирование значений $I_{pH(KCL)}$ и pH_{KCL} в исследованных почвах были незначительными (рис. 3 А, табл. 2). Статистически подтверждено, что в среднегумусированных почвах (агрочерноземах, агротемно-серых и агросерых) происходит уменьшение значений $I_{гумус}$ и содержания гумуса в 1,7-2,2 раза по сравнению с сильногумусированными агрочерноземами (рис. 3 Б, табл. 2, 3). Обратная тенденция отмечена по изменению $I_{фосфор(Чириков)}$ и содержанию подвижного фосфора: в сильногумусированных почвах их значения были в среднем в 2 раза ниже, чем в среднегумусированных (рис. 3 В, табл. 2, 3).

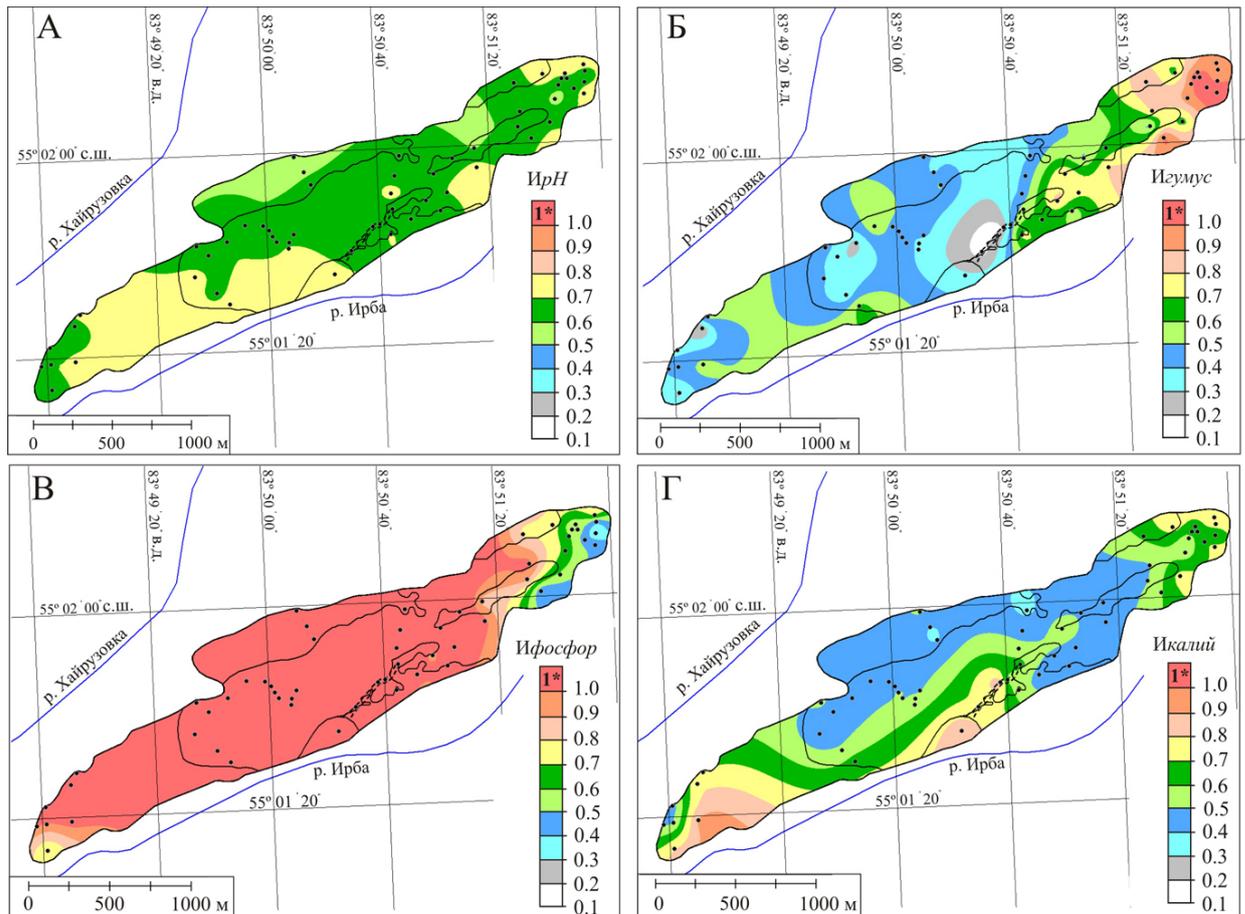


Рисунок 3. Карты относительных индексов рН солевого (А), содержания гумуса (Б), подвижного фосфора по Чирикову (В), обменного калия (Г). 1* фактическое значение выше оптимального. Условные обозначения см. рис.1.

На карте выделяется значительный по площади ареал почв, в которых $I_{фосфор}$ равен 1.0, следовательно, фактическое содержание подвижного фосфора выше оптимального уровня (>20 мг/100 г). Изменение $I_{калий}$ и содержания обменного калия в почвах было неравномерным: в среднегумусированных агрочерноземах и агротемно-серых почвах их значения снижались в 1.2 раза по сравнению с сильногумусированными агрочерноземами, в остальных случаях различия были недостоверны (рис. 3 Г, табл. 2, 3). В целом содержание обменного калия в почвах было ниже оптимального уровня (<30 мг/100 г).

Таблица 2. Почвенные свойства и запасы надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси

Параметры	Виды почв по содержанию гумуса			
	сильногумусированные	среднегумусированные		
	$AЧ_{ГП}^{\ominus}+AЧ_{ГП}^{\Gamma}$ (n = 13)	$AЧ_{ГП}^{\ominus}+AЧ_{ГП}^{\Gamma}$ (n = 17)	$AC_{Г}^{\ominus}$ (n = 15)	AC^{\ominus} (n = 12)
pH _{KCL}	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,1 ± 0,2	5,2 ± 0,2
Гумус, %	7,8 ± 1,2	4,1 ± 1,6*	4,5 ± 1,2*	3,6 ± 0,9*
K ₂ O по Масловой, мг/100 г	20,2 ± 2,5	16,6 ± 3,1*	17,0 ± 3,1**	18,8 ± 4,7
P ₂ O ₅ по Чирикову, мг/100 г	12,3 ± 3,4	25,4 ± 4,6*	24,6 ± 6,9*	22,9 ± 4,4*
P ₂ O ₅ по Карпинскому-Замятиной, мг/кг	0,31;0,29;0,33	0,54;0,33;0,2	0,43;0,22;0,22	0,37 ± 0,30
P ₂ O ₅ по Николову, мг/100 г	2,7;2,6;2,8	3,3;3,3;2,5*	3,2 ± 1,6	4,1;3,7;6,5*
Запасы надземной фитомассы, г/м ²	130,5 ± 27,6 (n=13)	155,5 ± 40,3 (n=8)	142,8 ± 30,4 (n=14)	143; 154; 155 (n=5)

Примечание. Для нормально распределенных данных представлены среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm s$); для ненормально распределенных данных среднее значение, медиана и мода (M ; Me ; Mo); n объем выборки. * показатели статистически значимо ($p < 0,01$) отличающиеся от соответствующих в сильногумусированных агрочерноземах, ** отличия значимы при $p < 0,05$. Обозначения почв см. табл. 1.

Таблица 3. Относительные индексы почвенных свойств и индекс окультуренности почв

Параметры	Виды почв по содержанию гумуса			
	сильногумусированные	среднегумусированные		
	$AЧ_{ГП}^{\ominus}+AЧ_{ГП}^{\Gamma}$ (n = 13)	$AЧ_{ГП}^{\ominus}+AЧ_{ГП}^{\Gamma}$ (n = 17)	$AC_{Г}^{\ominus}$ (n = 15)	AC^{\ominus} (n = 12)
$I_{pH(KCL)}$	0,68 ± 0,06	0,68 ± 0,04	0,65 ± 0,07	0,67 ± 0,06
$I_{гумус}$	0,94 ± 0,11	0,48 ± 0,2*	0,54 ± 0,15*	0,41 ± 0,12*
$I_{калий}$	0,65 ± 0,09	0,52 ± 0,1*	0,54 ± 0,14**	0,60 ± 0,16
$I_{фосфор(Чириков)}$	0,66 ± 0,12	1,0 ± 0,01*	0,96 ± 0,08*	0,97 ± 0,09*
$I_{фосфор(Карпинский-Замятина)}$	0,41;0,39;0,46	0,50;0,46; 0,30	0,45;0,27;1,0	0,46 ± 0,35
$I_{фосфор(Николов)}$	0,58;0,64;1,0	0,80;0,85;1,0*	0,74 ± 0,41	0,84;0,97;1,0*
$I_{ок} (I_{pH}; I_{гумус}; I_{фосфор(Чириков)}; I_{калий})$	0,73 ± 0,06	0,67 ± 0,05*	0,67 ± 0,05*	0,66; 0,64; 0,8**

Примечание. Для нормально распределенных данных представлены среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm s$); для ненормально распределенных данных среднее значение, медиана и мода (M ; Me ; Mo). * показатели статистически значимо ($p < 0,01$) отличающиеся от соответствующих в сильногумусированных агрочерноземах, ** отличия значимы при $p < 0,05$. Обозначения почв см. табл. 1

На основе формулы 2 и цифровых карт относительных индексов (I_{pH} , $I_{гумус}$, $I_{фосфор(Чириков)}$, $I_{калий}$) построена карта индекса и степени окультуренности пахотных почв (рис. 4).

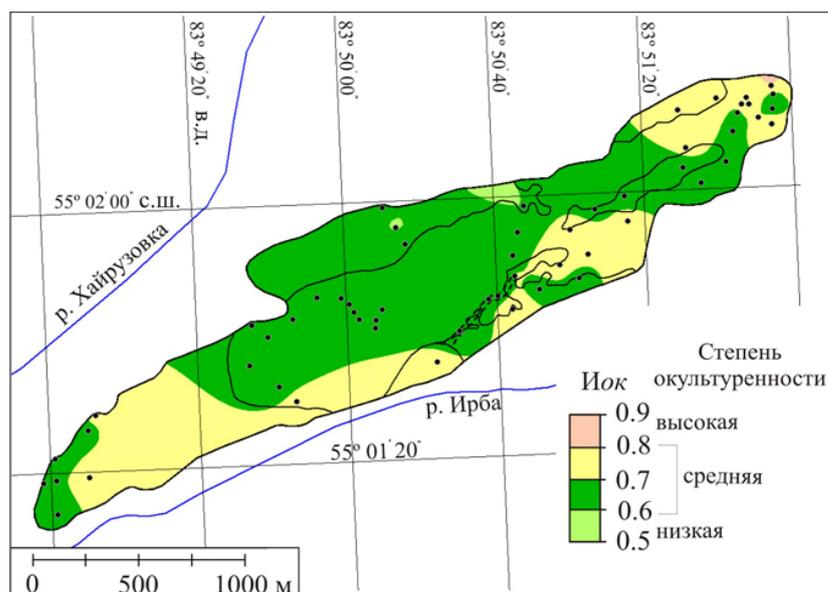


Рисунок 4. Карта индекса и степени окультуренности почв.

Несмотря на то, что содержание гумуса в сильногумусированных почвах близко к значению эталонной почвы (8%), а в среднегумусированных почвах существенно ниже, степень окультуренности почв одинаковая и соответствует среднему уровню. Это связано с более высоким содержанием подвижного фосфора по Чирикову в среднегумусированных почвах. Таким образом, среднегумусированные почвы (агрочерноземы, агротемно-серые и агросерые) могут иметь близкую качественную оценку с сильногумусированными агроценозами. Следовательно, на близких по качеству почвах продуктивность зерновых культур должна быть приблизительно одинаковой. Согласно полученным данным (табл. 2) различия между запасами надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси, произрастающей на сильно- и среднегумусированных почвах, не выявлены. Однако для более надежного вывода, необходима оценка различий по итоговой урожайности зерна, а не только запасов надземной фитомассы.

Выше был рассмотрен метод оценки степени окультуренности почв по относительным индексам агрохимических свойств, включая в расчеты $I_{\text{фосфор}}$ по Чирикову. Однако при оценке плодородия почв Новосибирской области в отношении фосфорного питания необходимо учитывать специфику фосфатного фонда, заключающуюся в преобладании малодоступных высокоосновных фосфатов кальция и их окклюзированных форм (Аверкина, Синещев, Ткаченко, 2011). При определении содержания подвижного фосфора в почвах методом Чирикова экстрагентом (0,5 М CH_3COOH) извлекается некоторая часть малодоступных растениям фосфатов, следовательно, результаты получаются завышенными и не объективными. Поэтому для решения вопросов фосфорного питания растений и оценки обеспеченности почв подвижным фосфором перспективным является использование более слабых экстрагентов, таких как 0,1 М яблочнокислый аммоний (подвижный фосфор по Николову) и 0,015 М сернокислый калий (легкоподвижный фосфор по Карпинскому-Замятиной). Эти методы подходят для оперативной или предпосевной оценки минерального питания растений фосфором (Николов, 1986; Почвенно-агрохимические проблемы..., 1989; Якутина, 2006). Кроме этого необходимо подчеркнуть, что существуют несоответствия в оценке уровня обеспеченности почв фосфором при использовании различных градаций. Сравнительный анализ данных с использованием градаций (Методические..., 2003) показал, что содержание подвижного фосфора по Чирикову в сильно- и среднегумусированных почвах (табл. 2) соответствовало повышенному и высокому уровню, по откорректированным шкалам для зерновых культур в Предсалаирье Новосибирской области (Аверкина, Синещев, Ткаченко, 2011) среднему и высокому уровню. Обеспеченность почв подвижным фосфором по Николову (табл. 2) соответствовала среднему уровню (Николов, 1986; Якутина, 2006), легкоподвижным фосфором по Карпинскому-Замятиной низкому уровню (Почвенно-агрохимические..., 1989; Аверкина, Синещев, Ткаченко, 2011). Таким образом, для расчета относительного индекса по фосфору перспективным направлением является усовершенствование методики Т.Н. Кулаковской и использование в вычислениях $I_{\text{ок}}$ (индекса и

степени окультуренности почв) данных по относительным индексам, рассчитываемых на основе содержания легкоподвижного фосфора по Карпинскому-Замятиной и подвижного фосфора по Николову. Для решения поставленной задачи были приняты следующие минимальные значения содержания в почвах подвижных форм фосфора: P_2O_5 по Карпинскому-Замятиной 0,05 мг/кг, P_2O_5 по Николову 0,5 мг/100 г. За оптимальные уровни содержания подвижных форм фосфора в почвах при возделывании зерновых культур условно приняты следующие значения: P_2O_5 по Карпинскому-Замятиной 0,66 мг/кг, P_2O_5 по Николову 3,8 мг/100 г. Эти значения, согласно исследованиям (Аверкина, Синещев, Ткаченко, 2011; Николов, 1986; Якутина, 2006), соответствуют повышенному уровню обеспеченности почв подвижными формами фосфора. С использованием вышеприведенных условий и формулы 1 построены карты относительных индексов содержания фосфора, определяемого по Карпинскому-Замятиной и по Николову (рис. 5, А, Б).

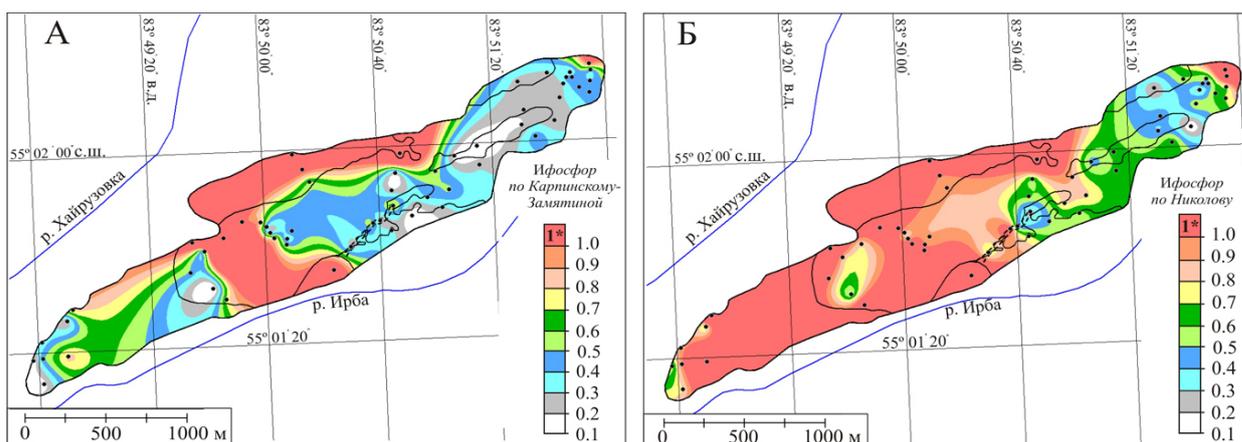


Рисунок 5. Карты относительных индексов содержания легкоподвижного фосфора по Карпинскому-Замятиной (А) и подвижного фосфора по Николову (Б). 1* фактическое значение выше оптимального. Условные обозначения см. рис. 1.

Карта относительного индекса $I_{\text{фосфор}}$ по Карпинскому-Замятиной показывает, что на изучаемой территории встречаются ареалы почв, в которых $I_{\text{фосфор}}$ и, соответственно, содержание легкоподвижного фосфора ниже в 1,3-10 раз по сравнению с оптимальным значением. Это говорит о том, что на значительной площади в почвах содержится недостаточное количество легкоподвижного фосфора, который поглощается растениями в первую очередь. Различия по содержанию легкоподвижного фосфора и $I_{\text{фосфор}}$ по Карпинскому-Замятиной в сильно- и среднегумусированных почвах недостоверны (табл. 2, 3).

Карта относительного индекса $I_{\text{фосфор}}$ по Николову (рис. 5 Б), а также данные таблицы 2 показывают, что среднегумусированные агрочерноземы, агротемно-серые и агросерые почвы содержат в 1,2-1,5 раза больше подвижного фосфора по сравнению с сильногумусированными агрочерноземами.

Карты относительных индексов ($I_{\text{РН}}$, $I_{\text{гумус}}$, $I_{\text{калий}}$), а также карты $I_{\text{фосфор}}$ по Карпинскому-Замятиной и по Николову были использованы для расчета карт индекса окультуренности (рис. 6 А, Б). С учетом $I_{\text{фосфор}}$ по Карпинскому-Замятиной степень окультуренности почв значительной части исследуемой территории низкая; с учетом $I_{\text{фосфор}}$ по Николову средняя.

Легкоподвижный фосфор по Карпинскому-Замятиной и подвижный фосфор по Николову были единственными показателями из всех рассмотренных почвенных свойств, которые имели положительную корреляционную связь с запасами надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси, а также между собой эти формы фосфора имели тесную связь (табл. 4). Между содержанием подвижного фосфора по Чирикову и гумусом установлена обратная тесная корреляционная связь, что было выявлено и ранее в почвах эрозионно опасных склонов на юге Западной Сибири (Якутина, 2006; Якутина, Нечаева, Смирнова, 2011).

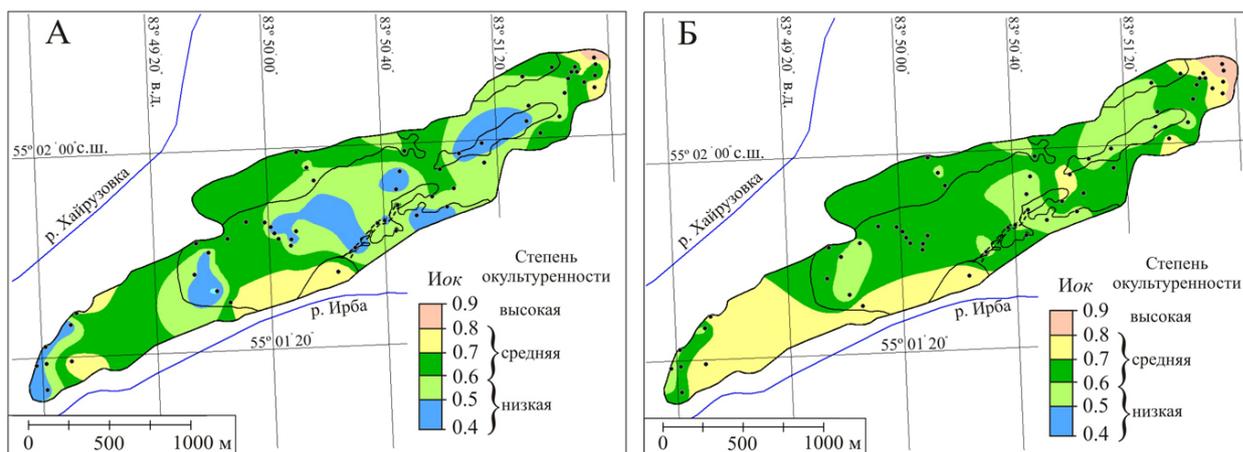


Рисунок 6. Карты индекса и степени окультуренности почв, рассчитанные с использованием относительных индексов ($I_{рН}$, $I_{гумус}$, $I_{калий}$) с учетом $I_{фосфор}$ по Карпинскому-Замятиной (А) и $I_{фосфор}$ по Николову (Б).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции Пирсона и Спирмена (выделены серым цветом) между свойствами пахотного горизонта почв и запасами надземной фитомассы

Свойства почвы	Гумус	P_2O_5 по Чирикову	P_2O_5 по Карпинскому-Замятиной	P_2O_5 по Николову	K_2O по Масловой	рН солевой	ЗНФ
Гумус	–						
P_2O_5 по Чирикову	-0,75	–					
P_2O_5 по Карпинскому-Замятиной	<i>0,06</i>	<i>0,26</i>	–				
P_2O_5 по Николову	<i>-0,19</i>	<i>0,25</i>	0,66	–			
K_2O по Масловой	<i>0,33</i>	<i>-0,44</i>	<i>0,16</i>	<i>0,05</i>	–		
рН солевой	<i>0,25</i>	<i>-0,21</i>	<i>0,14</i>	<i>0,20</i>	<i>0,39</i>	–	
ЗНФ	<i>-0,09</i>	<i>0,23</i>	<i>0,41</i>	<i>0,33</i>	<i>-0,04</i>	<i>0,16</i>	–

Примечание. ЗНФ запасы надземной фитомассы. Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции заметной и высокой силы связи ($p < 0.01$); подчеркиванием умеренной силы связи ($p < 0.01$); курсивом статистически незначимые ($p > 0.05$).

Таким образом, для оперативной диагностики минерального питания растений фосфором необходимо использовать методы, которые объективно отражают уровень содержания в почве доступных растениям фосфатов.

Результаты исследований показали, что по цифровым картам относительных индексов агрохимических свойств и степени окультуренности почв можно оценить качественные и количественные почвенные параметры, определить географическое расположение ареалов почв с дефицитом тех или иных элементов питания и оценить их пригодность для возделывания сельскохозяйственных культур.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методология построения цифровых карт степени окультуренности пахотных почв Предсалаирской дренированной равнины, для которых в качестве основы послужили относительные индексы агрохимических свойств (рН_{KCl}, содержания гумуса, подвижного фосфора, обменного калия).

2. Статистически подтверждено, что содержание гумуса в среднегумусированных почвах (агрочерноземах, агротемно-серых и агросерых) на высотах 190-280 м ниже в 1,7-2,2 раза по сравнению с сильногумусированными агрочерноземами на высотах 280-310 м. Степень

окультуренности изученных почв средняя независимо от их гумусированности и типовой принадлежности. Индекс окультуренности сильно- и среднегумусированных почв имеет близкие значения, что связано с более высоким содержанием подвижного фосфора по Чирикову в менее гумусированных почвах.

3. Различия по значениям pH_{KCl} и содержанию легкоподвижного фосфора по Карпинскому-Замятиной между сильно- и среднегумусированными почвами не выявлены. Обеспеченность почв легкоподвижным фосфором на 2/3 части территории исследования ниже оптимального уровня ($<0,66$ мг/кг) и, соответственно, степень окультуренности почв низкая. Для объективной диагностики минерального питания культурных растений фосфором необходимо учитывать специфику фосфатного фонда почв исследуемой территории, использовать по возможности откорректированные шкалы и несколько методов, включая определение легкоподвижного фосфора.

4. Содержание подвижного фосфора в среднегумусированных почвах выше в 2,0 раза (по Чирикову) и 1,3 раза (по Николову) по сравнению с сильногумусированными почвами. При этом содержание подвижного фосфора по Чирикову в сильногумусированных почвах ниже оптимального уровня (<20 мг/100 г), в среднегумусированных выше оптимального уровня; обеспеченность почв подвижным фосфором по Николову средняя.

5. Обменный калий в пахотных почвах распределен неравномерно: в среднегумусированных агрочерноземах и агротемно-серых почвах содержание калия в среднем ниже в 1,2 раза по сравнению с сильногумусированными агрочерноземами, с агросерыми среднегумусированными почвами различия недостоверны. В целом содержание обменного калия в почвах ниже оптимального уровня (<30 мг/100 г).

6. Различия по запасам надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси на сильно- и среднегумусированных почвах недостоверны. Установлена положительная корреляционная связь запасов надземной фитомассы с содержанием в почвах легкоподвижного фосфора по Карпинскому-Замятиной ($r_s=0,41$) и подвижного фосфора по Николову ($r_s=0,33$).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Черепахиной Л.Д., Галузо Н.А., Писаревой О.Н., Бугровской Г.А. и Михаличенко Т.П. за помощь в проведении лабораторно-аналитических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкина С.С., Синещиков В.Е., Ткаченко Г.И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2011. № 11-12. С. 5-10.
2. Гопп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В. Оценка влияния мезорельефа склона на пространственную изменчивость свойств почвы и характеристики растительного покрова по данным дистанционного зондирования Земли // *Исследование Земли из космоса*. 2016а. № 3. С. 66-74.
3. Гопп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В. Применение цифровой модели высот (ASTER GDEM, 30 м) для оценки пространственной изменчивости содержания основных макроэлементов в агросерой почве склона // *Агрохимия*. 2016б. № 4. С. 46-54.
4. Галеева Л.П., Семендяева Н.В. Почвоведение: методические указания к курсовой работе. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2012. 33 с.
5. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства серых лесных почв склонового агроландшафта // *Агрохимия*. 2013. № 11. С. 19-25.
6. Звонкова Т.В. Прикладная геоморфология. М.: Высшая школа, 1970. 272 с.
7. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. М.: Колос, 1973. 73 с.
8. Орлов А.Д. Эрозия и эрозионноопасные земли Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. 208 с.
9. Каптанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
10. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
11. Классификация и диагностика почв СССР / Составители: В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов, В.А. Носин, Т.А. Фриев. М.: Колос, 1977. 223 с.
12. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: ВО «Агропромиздат», 1990. 220 с.
13. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
14. Николов Н. Усъвършенствование методи за контрол и регулиране на фосфора в почвите: Дис. «Доктор на селскостопанските науки» / Ин-т по почвознание Н. Пушкаров. София, 1986. 40 с.

15. Почвенно-агрохимические проблемы интенсификации земледелия Сибири: Сб. науч. тр. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд.-ние. СибНИИЗХим. Новосибирск, 1989. 176 с.
16. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
17. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
18. Савич В.И., Гукалов В.Н., Мансуров Б.А. Агроэкологическая оценка развития эрозии во времени и в пространстве // *Плодородие*. 2015. № 3. С. 40-42.
19. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.
20. Тюменцев Н.Ф. Методические указания по бонитировке почв Сибири на генетико-производственной основе. Новосибирск, 1979. 42 с.
21. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 349 с.
22. Якименко В.Н., Нечаева Т.В. Действие и последствие калийных удобрений в Западной Сибири // *Вестник Международного института питания растений*. 2016. № 2. С. 9-13.
23. Якутина О.П. Изменение фосфатного фонда черноземных почв Западной Сибири под влиянием водной эрозии // *Агрохимия*. 2006. № 2. С. 16-21.
24. 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.
25. 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 No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

*Поступила в редакцию 13.03.2017;
принята 22.02.2018; опубликована 26.02.2018*

Сведения об авторах:

Гопп Наталья Владимировна - к.б.н., научный сотрудник, лаборатории географии и генезиса почв, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, natalia.gopp@gmail.com;

Нечаева Таисия Владимировна - к.б.н., научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, taya_@inbox.ru;

Савенков Олег Александрович - к.б.н., научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, oleg.a.savenkov@mail.ru;

Смирнова Наталья Валентиновна - к.б.н., научный сотрудник лаборатории агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, nat-smirnova@yandex.ru;

Смирнов Валентин Валентинович - программист, ФГБУН Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия, valentiv.smirnov@gmail.com;

Смирнов Александр Валентинович - студент Алтайского государственного университета, Барнаул, Россия, sanya.smirnov.fantom@gmail.com.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

DIGITAL MAPPING OF SOIL FERTILITY INDEX CALCULATED FOR ARABLE SOILS OF THE CIS-SALAIR DRAINED PLAIN

© 2018 N.V. Gopp¹, T.V. Nechaeva¹, O.A. Savenkov¹, N.V. Smirnova¹, V.V. Smirnov², and A.V. Smirnov³

Address: ¹Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: natalia.gopp@gmail.com

²Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: valentiv.smirnov@gmail.com

³Altai State University, Barnaul, Russia. E-mail: sanya.smirnov.fantom@gmail.com

The article describes comparison of soil fertility indices (SFI) calculated for the ploughed layer of arable soils differing in soil organic matter (SOM) content: with high (5-8%) and medium (3-5%) SOM content. The studied soils were located on erosion-prone slope at different altitudes: soils with high SOM at 280-310 m,

and soils with medium SOM at 190-280 m a.s.l. The study area was located in the interfluvial area between the Irba and the Hiruzovka rivers in the Cis-Salair drained plain in the south-east of West Siberia. The soil types common there are Greyzemic Luvic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic), Phaeozems (Siltic, Aric), Greyzemic Phaeozems Colluvic (Siltic, Taptomollic). The SFI were calculated in two steps. First, the relative indices (RI) for every agrochemical property, i.e. pHKCl, SOM, acetic acid extractable phosphorus (P) and exchangeable potassium (K), were calculated on the basis of respective minimal and optimal soil concentrations and crop requirements. Second, the SFI were calculated as sums of the relative indices divided by 4. The resultant SFI values were rated according to the scale where values below 0.4 indicate low fertility; values ranging 0.41-0.60 indicate moderate fertility, whereas values ranging 0.81-1.0 indicate high fertility. The digital maps of the RI and SFI were created using raster calculator in ENVI software, which allows performing mathematical operations with quantitative parameters of raster image pixels in GeoTIFF format. The values of relative indices in raster cells exceeding 1 (that is when factual content is higher than the optimal one) were substituted with 1 by specially developed program called ZChanger. Then the SFI map was created for erosion-risky slopes using as a basis the digital maps of the relative indices for pHKCl, SOM, P and K. Phosphorus was extracted by two different extragents, namely 0.5 M acetic acid (PAA) and 0.1 M ammonium malate (PAM). Soil fertility index was rated as medium irrespective of SOM content and soil type due to the high PAA content in soils with less SOM. It was found that when SFI were calculated using the data on easily available soil P, i.e. extracted with 0.015 M K₂SO₄ (PPS), then for most of the study area SFI can be rated as low, indicating the deficit of plant available phosphates in soils. High- and medium-SOM soils did not differ in pHKCl and PPS. The medium-SOM soils, such as agrochernozems, agro-grey and agro-dark-grey ones, had 1.7-2.2 lower SOM content as compared with the high-SOM soils such as agrochernozems. The reverse relation was found in labile P content: in soils with medium SOM level the PAA and PAM contents were 2 and 1.3 times higher than in high-SOM soils, respectively. In high-SOM agrochernozems PAA was lower than the optimal level (<20mg/100 g soil), while in medium-SOM soils it was higher. The PAM could be rated as medium. Exchangeable K in the arable soils was found to be unevenly distributed: in medium-SOM agrochernozems and agro-dark-grey soils exchangeable K was on average 1.2 times lower as compared with high-SOM agrochernozems, the difference with medium-SOM agro-grey soils being statistically not significant. Overall exchangeable K was lower than the optimal level (<30mg/100 g soil) Above-ground phytomass was found to be positively correlated with soil labile PPS ($r_s=0.41$) and PAM ($r_s=0.33$). The difference in aboveground phytomass produced by oats and peas mixture between high- and medium-SOM soils was not statistically significant. **Key words:** humus, pH, available and easily available phosphorus, exchangeable potassium, aboveground phytomass, Chernozem, Phaeozem, digital soil mapping.

How to cite: Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V., and Smirnov A.V. Digital mapping of the degree of soil cultivation of the plowing soils of the Cis-Salair drained plain // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(1):32-44. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Averkina S.S., Sineshchekov V.E., Tkachenko G.I. Assessment of phosphate determination methods in chernozem soils of Novosibirsk region, *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 2011, No. 11-12, p. 5-10. (in Russian)
2. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. Effect of Mesorelief of the Slope on the Spatial Variability of Soil Properties and Vegetation Index According to Remote Sensing Data, *The Study of Earth from Space*, 2016a, No.3, p. 66-74. (in Russian)
3. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. Application of digital elevation models (ASTER GDEM, 30 m) to estimate the spatial variability of the content of basic macronutrients in agrogrey soil of the slope, *Agrochemistry*, 2016b, No.4, p. 46-54. (in Russian)
4. Galeeva L.P., Semendyaeva N.V. Soil Science: Methodical Instructions for Course Work, *Novosibirsk, Novosibirsk State Agricultural University*, 2012, 33 p. (in Russian)
5. Dubovik E.V., Dubovik D.V. Agrochemical Properties of Gray Forest Soils in a Sloped Agrolandscape, *Agrochemistry*, 2013, No.11, p.19-25. (in Russian)
6. Zvonkova T.V. Applied geomorphology, *Moscow, Higher school*, 1970, 272 p. (in Russian)
7. Union manual on soil surveys and development of large scale soil maps of land use, *Moscow, Kolos*, 1973. 73 p. (in Russian)
8. Orlov A.D. Erosion and eroded of land in Western Siberia, *Novosibirsk, Nauka*, 1983, 208 p. (in Russian)
9. Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. Agroecology soil slopes, *Moscow, Kolos*, 1997, 240 p. (in Russian)
10. Classification and Diagnostic System of Russian Soils, *Smolensk, Oikumena*, 2004, 342 p. (in Russian)
11. Classification and Diagnostics of Soils of the Soviet Union, *Moscow, Kolos*, 1977, 223 p. (in Russian)
12. Kulakovskaya T.N. Optimization of agrochemical soil system power plants, *Moscow, Agropromizdat*, 1990, 220 p. (in Russian)
13. Practical Manual for Conducting Comprehensive Monitoring of Soil Fertility of Agricultural Land, *Moscow, Rosinformagrotech*, 2003, 240 p. (in Russian)

14. *Nikolov N.* Improvement methods of control and regulation of phosphorus in soils: Diss. «Doctor of agricultural Sciences» / Institute of Soil Science N. Pushkareva. Sofia, 1986. 40 p.
15. *Soil and agrochemical problems of intensification of agriculture in Siberia* (Collection of scientific papers), Novosibirsk, 1989, 176 p. (in Russian)
16. *Field Guide for Correlation of Russian Soils*, Moscow, Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p. (in Russian)
17. Workshop on agrochemistry: Tutorial. 2nd edition, revised and enlarged / Edited by academician V.G. Mineev, Moscow, Lomonosov Moscow State University, 2001, 689 p. (in Russian)
18. *Savich V.I., Gukalov V.N., Mansurov B.A.* Agroecological estimation of erosion development in time and space, *Fertility*, 2015, No.3, p. 40-42. (in Russian)
19. *Tanasienko A.A.* Specific features of soil erosion in Siberia, *Novosibirsk, Siberian Branch of RAS*, 2003, 176 p. (in Russian)
20. *Tyumentsev N.F.* Methodical instructions for the classification of soils in Siberia on a genetic-production basis, Novosibirsk, 1979, 42 p. (in Russian)
21. *Khmelev V. A., Tanasienko A. A.* Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use, *Novosibirsk, Siberian Branch of RAS*, 2009, 349 p. (in Russian)
22. *Yakimenko V.N., Nechaeva T.V.* Effect and aftereffect of potassium fertilizers in West Siberia, *IPNI Newsletter in Russian*, 2016, No.2, p.9-13. (in Russian)
23. *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, *Problems of Agrochemistry and Ecology*, 2011, No.1, p.16-22. (in Russian)
24. *Yakutina O.P.* Changes of phosphate reserve Chernozem soils of Western Siberia under the influence of the water erosion, *Agrochemistry*, 2006, No.2, p.16-21.
25. 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 No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.

*Received 13 March 2017;
Accepted 22 February 2018;
Published 26 February 2018*

About authors:

Gopp Natalya V. - Candidate of Biological Sciences, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, natalia.gopp@gmail.com;

Nechaeva Taisia V. - Candidate of Biological Sciences, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, taya_inbox.ru;

Savenkov Oleg A. - Candidate of Biological Sciences, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, oleg.a.savenkov@mail.ru;

Smirnova Natalya V. - Candidate of Biological Sciences, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, nat-smirnova@yandex.ru;

Smirnov Valentin V. - Programmer, Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia, valentiv.smirnov@gmail.com;

Smirnov Aleksandr V. – student of Altai State University, Barnaul, Russia, sanya.smirnov.fantom@gmail.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/)

**АКАДЕМИКУ Г.П. ГАМЗИКОВУ 80 ЛЕТ!**

© 2018 В. Н. Якименко

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

Цитирование: Якименко В.Н. Академику Г.П. Гамзикову 80 лет! // Почвы и окружающая среда. 2018. №1(1). С.45-47.

Двадцать девятого января 2018 года исполнилось 80 лет Геннадию Павловичу Гамзикову академику РАН, доктору биологических наук, профессору. Г.П. Гамзиков яркий представитель отечественной Прянишниковской агрохимической школы, известный ученый, организатор и пропагандист науки.

Свой трудовой путь Г.П. Гамзиков начал главным агрономом колхоза в Бичурском районе Бурятии, где успешно работал несколько лет после окончания в 1960 году Бурятского сельскохозяйственного института. В дальнейшем он решил посвятить свою жизнь служению науке; в итоге его вклад в развитие российской и сибирской агрохимии трудно переоценить.

После успешного окончания аспирантуры Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства (г. Омск) в 1967 году защитил кандидатскую диссертацию «Содержание микроэлементов (Mn, Cu, Zn, Co) в почвах Омской области и отзывчивость бобовых культур на микроудобрения» и по 1979 год работал заведующим лабораторией агрохимии данного института.

В 1978 году на заседании диссертационного совета при Институте почвоведения и агрохимии СО АН СССР защитил докторскую диссертацию «Азотный фонд почв Западной Сибири и эффективность азотных удобрений». В 1982 году ему присвоено ученое звание профессор.

Г.П. Гамзиков в 1979 году организовал лабораторию питательного режима почв и трансформации удобрений в ИПА СО АН СССР, которую и возглавлял до 1988 года. В последующее десятилетие с 1988 по 1997 год работал генеральным директором НПО «Нива Алтай», директором Алтайского научно-исследовательского института земледелия и селекции сельскохозяйственных культур СО ВАСХНИЛ. С 1997 года по настоящее время профессор кафедры почвоведения, агрохимии и земледелия и заведующий лабораторией современных проблем экспериментальной агрохимии Новосибирского государственного аграрного университета.

В 1990 году Г.П. Гамзиков был избран членом-корреспондентом, а в 1993 г. академиком РАСХН.

Геннадия Павловича Гамзикова отличает многоплановость проводимых агрохимических, экологических, земледельческих исследований, однако особое внимание он уделил решению проблемы азота в сибирском земледелии, изучению цикла азота в системе почва-удобрение-растение. В области познания закономерностей функционирования азотного фонда сибирских почв им осуществлен настоящий прорыв, открыта новая яркая страница.

В своих исследованиях Г.П. Гамзиков установил ряд особенностей азотного фонда различных пахотных почв Западной Сибири, обусловленных своеобразием биоклиматических условий. Сведения о составе азотного фонда почв, содержании основных его компонентов и закономерностях режима позволили дать агрохимическую оценку мобильности и способности к гидролизу соединений почвенного азота. Выявлены основные источники пополнения минеральных форм азота в почве и показаны пути минерализации почвенных азотсодержащих соединений с целью оптимизации азотного питания выращиваемых культур. Установлены географические и агротехнические закономерности действия азотных удобрений в различных почвенно-климатических зонах Западной Сибири, разработана картосхема азотного фонда и эффективности азотных удобрений, предложены пути регулирования баланса азота в агроценозах.

Проведенные Г.П. Гамзиковым исследования со стабильным изотопом ^{15}N позволили количественно описать отдельные потоки круговорота азота в агроценозах основных природных зон Сибири. Большое внимание было уделено выявлению интенсивности и направленности процессов трансформации вносимых азотных удобрений, изучению специфики формирования баланса азота в системе почва-растение-удобрение. Созданная им информационно-аналитическая

база данных позволила описывать, прогнозировать и оптимизировать процессы круговорота, баланса и трансформации азота почв и удобрений в различных системах земледелия и при разных уровнях организации агропроизводства.

Большую ценность представляет разработанная Г.П. Гамзиковым методология почвенной диагностики азотного питания растений, обеспеченности их доступным азотом, определения потребности полевых культур в азотных удобрениях.

Теоретические разработки Г.П. Гамзикова нашли широкое применение при подготовке практических рекомендаций по эффективному применению удобрений в сибирском земледелии.

Большую теоретическую и практическую значимость имеют работы Г.П. Гамзикова по изучению гумусного, фосфатного, калийного фондов сибирских почв. Агрохимический статус пахотных почв Сибири рассмотрен им через закономерности режимов макро- и микроэлементов как составляющую часть проблемы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. С позиций этой концепции предложены классификация и основы ландшафтных систем земледелия, обоснованы балансовые параметры элементов питания растений в почвах главных сельскохозяйственных регионов Сибири. Большую важность представляют его работы по изучению режимов питательных элементов в севооборотах, при длительном применении удобрений и различных системах обработки почвы, орошении, а также посвященные генотипической реакции полевых культур на условия их минерального питания, агрохимической ценности местного агрорудного сырья, общим вопросам химизации земледелия и истории сибирской агрохимии.

Результаты исследований Геннадия Павловича изложены более чем в 320 печатных работах; в их числе 11 монографий, 40 практических рекомендаций для сельскохозяйственного производства, большое количество статей в рецензируемых зарубежных и отечественных научных изданиях. Из числа основных работ можно выделить:

Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 267 с.

Гамзиков Г.П., Кочергин А.Е., Крупкин П.И., Чуканов В.И. Рекомендации по диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений. Новосибирск, 1983. 30 с.

Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 161 с.

Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М. и др. Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. 254 с.

Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: СО РАСХН, НГАУ, 2013. 790 с.

Следует отметить, что долгие годы Геннадий Павлович с большим успехом занимается важным стратегическим делом подготовкой квалифицированных научных и научно-педагогических кадров, специалистов сельского хозяйства, находясь в постоянном творческом поиске, стремясь привить молодежи любовь к труду и избранной профессии. Он читает курсы лекций студентам ВУЗ'а, ведет занятия для специалистов сельского хозяйства на курсах по переподготовке кадров. Им подготовлено более 30 кандидатов и докторов наук; он является председателем диссертационного совета при НГАУ, членом других диссоветов.

Большую научную и научно-педагогическую работу Г.П. Гамзиков активно сочетает с научно-организационной деятельностью. По его инициативе и под руководством проводятся различные научные и научно-производственные конференции, в т.ч. регулярные Сибирские агрохимические Прянишниковские чтения. Он входит в состав редколлегий ряда научных журналов.

За свои достижения в научной, педагогической и организационной деятельности Г.П. Гамзиков награжден орденом Почета, медалями, почетными грамотами и премиями.

Геннадий Павлович всегда отличался высокой творческой активностью и работоспособностью, занимал оптимистическую жизненную позицию. Желаем ему и впредь крепкого здоровья, неиссякаемого оптимизма, осуществления всех творческих планов.

*Поступила в редакцию 05.02.2018;
принята 06.05.2018,
опубликована 08.02.2018*

Сведения об авторе:

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, заведующий лабораторией агрохимии, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, yakimenko@issa.nsc.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/).

ACADEMICIAN GAMZIKOV G.P. CELEBRATES 80TH ANNIVERSARY!

© 2018 V.N. Yakimenko

Address: Institute of Soil Science and Agro chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: yakimenko@issa.nsc.ru

How to cite: *Yakimenko V.N. Academician Gamzikov G.P. celebrates 80th anniversary! // The Journal of Soils and Environment. 2018. 1(1):45-47. (in Russian)*

*Received 05 February, 2018;
accepted 06 February 2018;
published 07 February 2018*

About the author:

Yakimenko Vladimir N. - Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of agrochemistry, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk city, Russia, yakimenko@issa.nsc.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/).