

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2019

Том 2. Выпуск 4

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

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

Дергачева Мария Ивановна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии 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 лаборатории экологии беспозвоночных животных 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

Доброворская 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 отдела географии и эволюции почв 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, старший научный сотрудник лаборатории генезиса и географии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Ермолов Юрий Викторович - кандидат биологических наук, старший 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

Миронычева-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 лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

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

Содержание

Наумова Н.Б. От редколлегии	e108
---------------------------------------	------

Эволюция почв и динамика экосистем

Мартынова Н.А., Власова В.Ю. Особенности свойств и генезиса почв Балаганской лесостепи и их эколого-ресурсный потенциал	e33
---	-----

Плодородие почв и минеральное питание растений

Нечаева Т.В., Гопп Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Магний в почвах и растениях в условиях склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири	e91
--	-----

Физика и гидрология почв

Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. Особенности температурного режима лесных почв северной тайги Западной Сибири	e105
--	------

Юбилеи и памятные даты

Герайзаде А. П., Гюлалыев Ч. Г., Чичулин А. В., Андроханов В. А. К 110-летию академика Владимира Родионовича Волобуева	e92
Дергачева М.И., Макеев А.О. Ежегодная Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению в Сибири: «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» (2010 – 2019 гг.)	e103



ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Дорогие друзья – читатели журнала «Почвы и окружающая среда»! С удовольствием представляем вашему вниманию очередной его номер. Редакция прилагает немало усилий для обеспечения бесперебойной и эффективной публикационной деятельности нашего издания. В тоже время следует признать, что есть определенные опасения нарастания сложностей со своевременным формированием номеров. Причиной является недавно введенная Методика расчета «Комплексного балла публикационной результативности» для научных организаций, подведомственных Минобрнауки России. Согласно этой Методике для расчета качественного показателя, характеризующего публикационную результативность научных организаций, используются издания, входящие в Перечень ВАК и международные библиографические базы данных¹. Наш журнал в этот список не входит (надеемся – пока), а желание авторов, в свете последних нововведений, получать какие-то зачетные баллы за свои публикации понятно.

Однако, дорогие читатели и авторы журнала «ПОС», помимо качественной (в баллах) оценки публикационной результативности, параллельно ведется и количественная оценка, для которой наш журнал вполне подходит (все статьи имеют DOI, индексируются в РИНЦ и оперативно размещаются на eLIBRARY). В этой связи призываем Вас присылать свои статьи – хорошие и разные – в редакцию. Уверены, что совместными усилиями нам удастся обеспечить стабильность деятельности и повышение рейтинга журнала.

Поэтому, несмотря на возникающие определенные трудности и проблемы, мы продолжим наши усилия по выпуску журнала. В надежде, что время все постепенно расставит по местам, мы поддерживаем обращение главного редактора журнала «Proceedings of the National Academy of Sciences»², который призвал научное сообщество не полагаться только исключительно на импакт-фактор журнала (при выборе статей для цитирования), но ориентироваться также и на собственно научную значимость публикации (Verma, 2015) и ее привлекательность для научного сообщества. В этой связи показательна статистика из редакционной статьи, опубликованной в журнале Nature (Anonymous, 2005). Из 38 млн. публикаций журнала, процитированных в период с 1900 г. по 2005 г., всего 0,5% было процитировано более 200 раз, половину статей вообще никто не цитировал, а четверть публикаций не являлись оригинальными исследовательскими статьями (Garfield, 2006).

Ну да, впрочем, у каждого свои проблемы...

В представляемом номере журнала статья Мартыновой Н.А. и Власовой В.Ю. посвящена особенностям свойств и генезиса почв Балаганской лесостепи и их эколого-ресурсному потенциалу. Балаганская лесостепь является интереснейшим природным объектом и внесена в список перспективных особо охраняемых территорий нашей страны. Описание свойств и генезиса разнообразных почв, встречающихся там, несомненно, будет интересно читателям журнала.

Статья Нечаевой Т.В. с соавторами посвящена изучению содержания магния в почвах и растениях в условиях склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири. Для читателей, интересующихся магнием в почвах, может быть полезно сделанное авторами заключение о том, что при оценке магниевых состояний почв для определения подвижного (обменного) магния целесообразнее использовать 1 М КСl или 1 М CH₃COONH₄ с возможностью одновременного определения в одной и той же почвенной вытяжке других показателей, например, обменных кальция и калия, солевого рН и т.д. в зависимости от экстрагента.

Относительно много статей в разных журналах почвенно-агрохимической и экологической тематики посвящено изучению температурных особенностей почв различных экосистем, что, на наш взгляд, обусловлено, по крайней мере, частично, доступностью температурных датчиков,

¹ Для тех читателей, которые профессионально не связаны с российскими научными организациями, подведомственными Министерству науки и высшего образования России, поясним, что это частные зарубежные базы данных (Web of Science, Scopus), результаты статистических расчетов которых просто по определению неповторяемы и невозпроизводимы; и на этом основании наше министерство оценивает качество научных работ своих подведомственных организаций и выделяет государственные деньги на выполнение государственных заданий.

² Авторитетный междисциплинарный журнал с более чем 100-летней историей: <https://www.pnas.org/>

программируемых и записывающих данные в течение длительного времени. Результатом применения таких датчиков является генерация больших массивов температурных данных, которые авторы с тем или иным успехом пытаются проанализировать и интерпретировать в соответствии с поставленной задачей своих исследований.

Изучению особенностей температурного режима лесных почв северной тайги Западной Сибири посвящена статья Махаткова И.Д и Ермолова Ю.В. Авторы выявили основные факторы формирования теплового режима исследованных почв, а также привели величины теплообеспеченности, теплообмена и температуропроводности, которые могут пригодиться для сравнительного анализа заинтересованным этой темой читателям.

Немаловажным жанром публикаций всех без исключения современных журналов, как высокоимпактных, так и не очень, является биографический. Представляемый читателям номер содержит статью о талантливом ученом и интересном человеке академике Волобуеве В.Р., приуроченную к 110-ой годовщине со дня рождения. На результаты его работ продолжают ссылаться и классические почвоведы и математики, создающие математические модели биогеохимических циклов в экосистемах. И это несмотря на набирающую скорость и размах тенденцию в современных научных публикациях, как отечественных, так и зарубежных, обходить молчанием работы-первоисточники по какому-либо направлению (Baveye, 2020). Установленные Волобуевым В.Р. почвенно-климатические взаимосвязи служат основой и естественным образом вписываются в современные теоретические работы по экологии почв и энергетике почвообразования.

Но научное воздействие, т.е. *impact*, имеют не только статьи. Импакт, и часто весьма значительный, имеют научные мероприятия. Одна из публикаций номера посвящена именно такому мероприятию – ежегодной Международной научной молодежной школе по палеопочвоведению в Сибири: «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого», проходившей (2010–2019 гг.). Ключевой участок для проведения школы был выбран на территории северо-восточной части Приобского, где расположено уникальное природное образование - лёссово-почвенная серия плейстоцена, и где участники школы видели сочетание признаков современного и древнего почвообразования в едином профильном пространстве.

Уважаемые читатели! Редакция надеется, что знакомство с представленным номером журнала «ПОС» будет для Вас полезным и интересным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Anonymous*. Not-so-deep impact // Nature. 2005. V. 435(7045). P. 1003–1004. doi: [10.1038/4351003b](https://doi.org/10.1038/4351003b)
2. *Baveye P.C.* Bypass and hyperbole in soil research: A personal view on plausible causes and possible remedies // Eur. J. Soil Sci. 2020. P.1–8. doi: [10.1111/ejss.12940](https://doi.org/10.1111/ejss.12940)
3. *Garfield E.* The history and meaning of the journal impact factor // JAMA. 2006. V. 295(1). P.90–93. doi: [10.1001/jama.295.1.90](https://doi.org/10.1001/jama.295.1.90)
4. *Verma I.M.* Impact, not impact-factor // PNAS. 2015. V.112. No. 26. P. 7875–7876. doi: [10.1073/pnas.1509912112](https://doi.org/10.1073/pnas.1509912112)

Член редакционной коллегии
к.б.н. Н.Б. Наумова

ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ И ГЕНЕЗИСА ПОЧВ БАЛАГАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ИХ ЭКОЛОГО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

© 2019 Н. А. Мартынова , В.Ю. Власова

Адрес: ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, 664003, Россия, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1. E-mail: natamart-irk@yandex.ru

Цель исследования. Изучение особенностей свойств и генезиса естественных почв лесостепных районов Балаганской степи.

Место и время проведения. Окрестности пос. Балаганск Балаганского района Иркутской области, 2013-2018 гг.

Методология. Комплексные полевые и лабораторные исследования почвенного покрова и свойств почв изучаемой территории с применением почвенно-морфологического, педо-литологического, климатостратиграфического, ботанического, геолого-геоморфологического и сравнительно-географического, различных физико-химических методов анализа.

Основные результаты. Проведены исследования свойств почв Балаганской лесостепи и оценка их классификационного положения. Выявлены основные закономерности географического распространения почв и влияния на их экологию различных факторов и условий почвообразования. Определено, что на остепненных пространствах изучаемого района формируются преимущественно черноземы глинисто-иллювиальные и текстурно-карбонатные; под лесной растительностью развиваются остаточно-карбонатные серые, темно-серые, серые и темно-серые метаморфические почвы, буроземы; на пойменных пространствах формируются глееземы и темно-гумусовые глееватые почвы.

Заключение. Почвы Балаганской лесостепи развиваются на элюво-делювии карбонатных кембрийских красноцветных алевролитов и лёссовых покровов, обладают достаточно высоким природным плодородием и эколого-ресурсным потенциалом; характеризуются большим разнообразием и сложным (полигенетичным) строением профиля, что отражает смену условий почвообразования в голоцене-плейстоцене.

Ключевые слова: почвенный покров; Балаганская лесостепь; генезис почв; свойства почв; эколого-ресурсный потенциал

Цитирование: Мартынова Н.А., Власова В.Ю. Особенности свойств и генезиса почв Балаганской лесостепи и их эколого-ресурсный потенциал // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 4. е33. doi: 10.31251/pos.v2i4.33

ВВЕДЕНИЕ

Первые исследования почв в лесостепной части Балаганского округа, проведенные в конце XIX в. Н. Н. Агапитовым (Агапитов, 1881) и Я. П. Прейном (Прейн, 1890), выявили такие почвы как: 1) «красные глины» (современные буроземы остаточно-карбонатные (Классификация, 2004) или дерново-карбонатные почвы (Классификация, 1977); 2) «гороховатые» или «крупитчатые» земли (черноземовидные или темно-серые глееватые (Классификация, 2004) или лугово-черноземные почвы (Классификация, 1977); 3) «пыхуны» («буковина», «опухоль») и собственно «черно-земь» («черные крепкие земли») - (темносерые и черноземы глинисто-иллювиальные (Классификация, 2004) или темно-серые лесные и черноземы выщелоченные (Классификация, 1977); 4) «бузун, трунда» (темно-гумусово-глеевые (Классификация, 2004) или луговые (Классификация, 1977); 5) глины мясниковые» (эродированные дерново-элювоземы (глееватые) (Классификация, 2004)); 6) солонцы (солонцы темные, солончаки глеевые (Классификация, 2004)). Почвы Лено-Ангарской лесостепи изучали разные исследователи (Николаев, 1948; Макеев, 1959; Макеев, Ногина, 1962; Надеждин, 1961; Карнаухов, 1977, 1980; Почвоведы ..., 2004; Воробьева, 2010; Воробьева и др., 2010а). Для увеличения посевных площадей и более рационального использования богатых природных ресурсов района необходимо более глубокое изучение его почвенного покрова. Но до конца еще не исследованы особенности генезиса и свойств балаганских почв, влияния на них почвообразующих и подстилающих пород, климата и рельефа, чем и обусловлена актуальность проведенного исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили почвы Лено-Ангарской лесостепи, а именно северного участка Иркутско-Балаганской лесостепи в окрестностях поселков Балаганск и Игжей (рис. 1б, далее – Балаганская лесостепь¹), представленных лесными сосновыми, лиственнично-сосновыми и березовыми биоценозами, степными злаковыми, разнотравно-злаковыми и бобово-злаковыми сообществами, а также – луговыми разнотравными ассоциациями речных долин и межплоскогорных понижений.

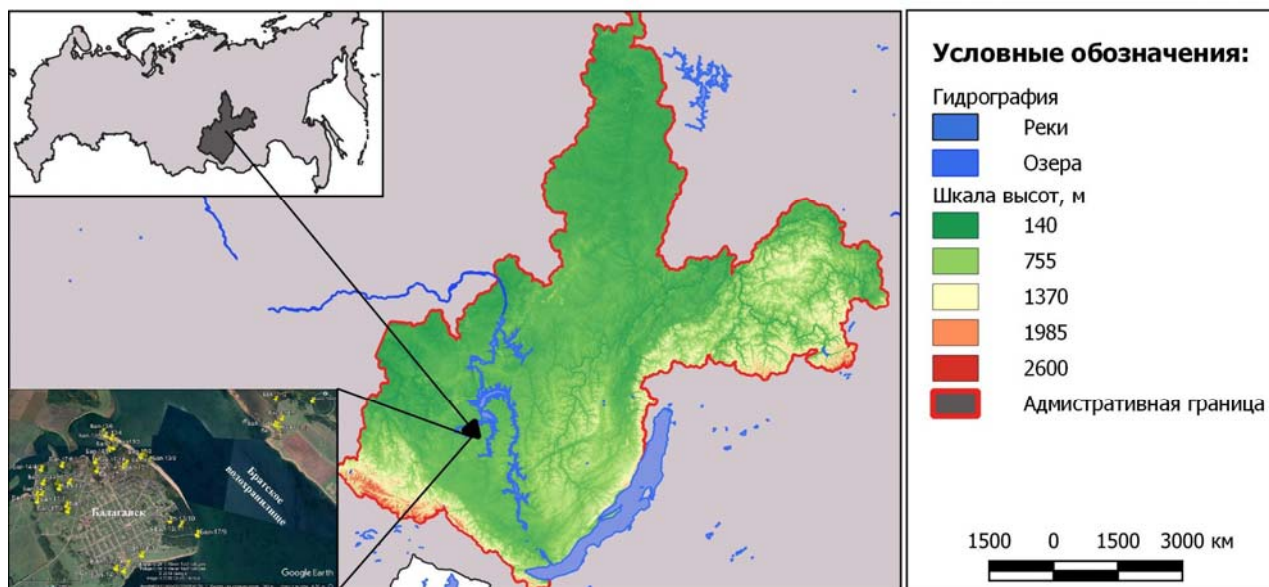


Рисунок 1. Месторасположение объектов исследования

Для полевого исследования почв и ландшафтов применяли почвенно-морфологический, педолитологический, ботанический, геолого-геоморфологический и сравнительно-географический методы исследования. Было заложено и описано 30 почвенных разрезов. Лабораторные исследования свойств основных типов почв были проведены общепринятыми методами потенциометрии, титрования, фотоколориметрии, весового анализа (Теория и практика, 2006) в пробах воздушно-сухих образцов почв, растёртых и просеянных через сито с диаметром отверстий в 1 мм, а при необходимости – через сито с диаметром отверстий 0,25 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Примыкающая с юго-востока к Сибирской платформе Ленская складчатая полоса, переходная к древнепалеозойской геосинклинальной области, как и остальная южная часть платформы, с девонского периода и до наших дней оставалась сушей с отсутствием оледенения покровного типа. Территория исследования (Атлас, 2004; Атлас, 2010; Экологический атлас, 2017) характеризуется чередованием антиклинальных гряд с синклинальными впадинами Верхнеленского высокого сводообразного плато с колебанием относительных высот в пределах от 100 до 150 м и глубокой изрезанностью рельефа древними речными долинами, обуславливающими широкое распространение овражно-балочной сети и различных форм мезо- и микрорельефа. Полевые исследования выявили высокую степень неоднородности почвенного покрова изучаемой территории, на структуру которого, на генезис и свойства почв большое влияние оказывают, наряду с рельефом и литологическими особенностями региона, качественные характеристики почвообразующих пород (Мартынова и др., 2016). Преимущественное распространение на территории исследования получили красноцветные карбонатно-силикатные отложения верхнего кембрия, минеральный состав которых составляет каолинит-гидрослюдистая ассоциация. В нижних горизонтах кембрия отмечалось присутствие соляных залежей, в красноцветной толще верхнего кембрия распространены галогенные породы (Николаев, 1948). Денудационное выравнивание рельефа, начавшееся с мел-палеогенового времени, привело к

¹ Балаганская лесостепь является перспективной особо охраняемой природной территорией России (<http://oopt.aari.ru/oopt/Балаганская-лесостепь>).

накоплению красно-бурых суглинисто-глинистых отложений, подверженных интенсивным процессам эрозии. Элювиально-делювиальные отложения, по мощности сравнительно небольшие, на склонах и террасах переходят в толщу легкоразмываемых лёссовидных суглинков. Частично кембрийские алевролиты на нижних частях склонов перекрыты лёссовидными покровными карбонатными четвертичными отложениями (до 5 м и более).

В условиях расчлененного рельефа Балаганской лесостепи с большой амплитудой высот важное значение в распределении почвенно-растительного покрова имеет радиационный баланс территории, достигающий 20–34 ккал/см², наряду с экспозицией и крутизной склонов. Испаряемость (600–800 мм в год), превышающая годовое количество осадков (250–500 мм/год), небольшой безморозный период (78–89 дней) обуславливают засушливость климата с жарким летом и холодной зимой (Беркин и др., 1993; Бояркин и др., 2011). На столовых возвышенностях, сложенных трудноразмываемыми песчаниками и аргиллитами кембрия, формируются залесённые территории. По схеме районирования юга Средней Сибири исследуемая территория относится к Верхнеприангарской подгорной подтаежной и степной провинции Южно-Сибирской горной области и входит в состав Ангаро-Окинского равнинного округа сухих и теплых гидротермических условий с сосновыми травяными подтаежными и лугово-степными разнотравно-крупнотравными ценозами на юрских песчаниках и кембрийских карбонатных отложениях с сезонномерзлыми грунтами (Коновалова, Руденко, 2010). Склоны водоразделов и террас покрывают смешанные осиново-березово-лиственничные леса, встречаются сосново-лиственничные леса. Пологие склоны почти полностью распаханы, но сохранились остепненные участки с естественной растительностью. Распашка земель, интенсивный и неконтролируемый выпас скота, бессистемная раскорчевка лесов при отсутствии проведения противоэрозионных мероприятий привели к усилению эрозионных процессов. Смыв почвы на пашне достигает 5–10 т/га в год (Рыжов, 2009). Проведенный анализ почвенного покрова выявил развитие на территории исследования бугристо-западного рельефа, в том числе и на пахотных землях (до 50%), что связано с деградацией мерзлотных клиньев, образовавшихся в плейстоценовый минимум. Недостаточность осадков в районе обуславливает слабое промывание почв, приводящее к накоплению вносимых с удобрениями веществ, иногда с токсическим воздействием; их накоплению способствует и карбонатность почв, снижающая растворимость.

Проведенные детальные полевые исследования показали, что внутреннее пространство почвенного покрова Балаганской лесостепи Предбайкалья гетерогенно и гетерохронно, при этом связано геохимическими миграционными потоками веществ и процессами их аккумуляции, зависимыми от особенностей строения почв и подстилающих их отложений. Последовательность смены отложений в толще почвообразующих пород отражает особенности развития ландшафтов в различные этапы преимущественно позднплейстоцен-голоценовой истории.

Для тектонического режима позднего мела–раннего олигоцена (70–27 млн л.) характерны вялые вертикальные движения, которые одновременно были свойственны огромным пространствам Евразии. Субтропический–тропический климат палеоцена с оптимумом в эоцене способствовал формированию в Предбайкалье каолиновых кор выветривания и латеритных профилей, красно-коричневых делювиально-почвенных образований средиземноморского типа. В составе глинистых минералов палеопочв и субэдральных отложений верхнего миоцена и нижнего плиоцена преобладает монтмориллонит (Воробьева и др., 1995; Mats et al., 2004).

Сильнейшая аридизация климата в конце раннего и начале среднего плиоцена способствовала широкому распространению в регионе степной и полупустынной растительности с бурными полупустынными почвами, накоплению пылеватых отложений. В начале позднего плиоцена произошло значительное похолодание, с которым ряд авторов (Ярмолюк, Кузьмин, 2006; Кузьмин и др., 2001) связывают древнейшее (2,82–2,48 млн л. н.) оледенение гор Прибайкалья. Тектонические движения неогена и похолодание климата способствовали смене лесной широколиственной растительности тургайского типа на мелколиственные леса (Чернышова, 2012). Особенно резкие изменения в характере почвообразования вызвало похолодание климата во второй половине верхнего плиоцена (Воробьева, Мац, 2006): образование коричневых почв (реже – красно-коричневых, красных ферсальитных почв и черных слитоземов) в субтропическом климате миоцена и большей части плиоцена сменилось формированием на палево-желтых глинистых делювиальных отложениях криогенно-глеевых почв (криотурбированных, иногда переслоенных красноцветными педоседиментами погребенных субтропических почв миоцен–плиоцена) и несколько позже – серых лесных, часто криогенно-трещиноватых почв (в условиях почвообразования, сходных с современными). При максимальной

аридизации климата нижнего плиоцена формировались экзотичные для региона бурые полупустынные почвы, сменившиеся в неустойчивой холодной резко континентальной климатической обстановке верхнего эоплейстоцена на подбуры, каштановые и различные примитивные почвы.

Высокая тектоническая активность на территории Восточной Сибири в плейстоцене, сопровождавшаяся крупными орографическими и климатическими изменениями глобального характера (Логачев и др., 1964) способствовали деградации лесов и аридизации ландшафтов. В климатический минимум плейстоцена (21–18 тыс. л. н.) аридизация климата привела к прекращению солифлюкционных и развитию эоловых процессов, распространению тундростепей с примитивными почвами, позднее (18–11 тыс. л. н.) сменившимися криоксерофитными степями с формированием погребенных малогумусных горизонтов в периоды потеплений (Воробьева, 2008). Причем, первичную роль в седиментогенезе как Предбайкалья (Сибирской платформы), так и Прибайкалья (Тункинской долины Байкальской рифтовой зоны) играл не тектонический, а климатический фактор (Сименей и др., 2014, Сименей, 2015): в литолого-стратиграфическом строении их верхнелепесточеновых отложений, несмотря на существенные различия геодинамических обстановок осадконакопления, наблюдаются многочисленные сходства (наличие базального крупнообломочного аллювия; уменьшение крупности гранулометрического состава отложений вверх по разрезу и замещение аллювиальных фаций отложений субаэральными покровами; наличие горизонтов погребенных почв и криогенеза; близкие временные интервалы формирования отложений), что подтверждают проведенные нами полевые исследования морфологии и педолитологии современных и погребенных почв и отложений.

Позднесартанское похолодание (14–11 тыс. л. н.) привело к распространению холодных сухих степей с разреженными лесами и способствовало усилению делювиального литогенеза, сингенетических, диагенетических и эпигенетических процессов выветривания и специфического почвообразования (характерного для внеледниковых зон холодных эпох), а также эолового переноса пыли, что привело к накоплению толщ пылеватых лёссовых и лёссовидных отложений (Берг, 1926), достигающих в районе исследования местами 4–5 м и более. Аридизация климата способствовала содообразованию и криогенной аккумуляции углекислого кальция в почвах региона. Развитие процессов криогенеза и криоморфизма обуславливало расширение синлитогенного пленигляциального эмбрионального почвообразования (Величко, Морозова, 2015), проявлявшегося в почвах исследуемого района слабым гумусонакоплением, микроагрегированием, аккумуляцией и перераспределением вторичных карбонатов без их выщелачивания, оглеением. В лёссовых отложениях почв района (преимущественно эолового и эолово-делювиального генезиса) сартанского криохрона (МИС-2) встречаются седименты достаточно гумусированных почв более теплого каргинского мегаинтерстадиала (МИС-3), которые были погребены раннесартанскими (Sr^1) отложениями, а позднее – разобщены и «расташены» солифлюкционными и делювиальными процессами (Воробьева и др., 2010а; 2016, Воробьева, Бердникова, 2008). В кровле позднесартанских (Sr^4), как правило, сильно окарбоначенных лёссовидных отложений часто фиксируется наличие древних криогенных трещин и мерзлотных клиньев, разрывающих всю толщу сартанских отложений и заполненных материалом вышележащих слоев (часто более буровато-розоватой окраски, иногда слабо гумусированных).

Резкий характер границы между отложениями плейстоценового (сартанского) возраста (на рубеже 11,7 тыс. л. н.), отграничивающей оледенение позднего дриаса от отложений голоцена, связан с быстрыми и кардинальными изменениями природно-климатической обстановки, возможно из-за произошедшего в районе Мексики 12,9 тыс. л. н. столкновения Земли с огромным кометоподобным телом 4 км шириной и 107 мегатонн энергии (Firestone, 2007), которое, раздробившись в атмосфере Земли, не оставило на ее поверхности видимых следов повреждений, но обусловило возрастание скорости вращения планеты, усиление вулканизма как на суше, так и в зонах океанов, активизацию тектонических процессов, что и привело к быстрому изменению климата.

Около 11 тыс. л. н. на юге Восточной Сибири господствовали тундро-степные ландшафты с разреженными лесами при широком распространении карста и многолетней мерзлоты с криогенными трещинами, что впоследствии привело к формированию в долинах бугристо-западного рельефа, создающего определенные неудобства в сельскохозяйственном использовании земель района. Индикатором границы плейстоцена–голоцена на юге Восточной Сибири является, как правило, горизонт бурного вскипания от HCl (голоценовые отложения, как правило, бескарбонатные), что связано с резкой перестройкой природной среды, а именно – с прекращением лёссообразования почвенно-флювиогляциально-эолового генезиса сартанского периода.

С раннебореальным потеплением на фоне повышенного увлажнения связана экспансия лесных формаций, преимущественно темнохвойных, которые вытеснили тундровые и степные элементы, соответственно, к северу и к югу. В конце бореала теплый климат опять сменился холодным и влажным и наступила очередная волна похолодания, которая способствовала смене состава древостоя (в сторону преобладания сосны и лиственницы). В атлантический период климатического оптимума голоцена (5,4–8,8 тыс. л. н.) в связи с потеплением климата и дальнейшей деградацией многолетней мерзлоты наступление лесной растительности (преимущественно светлохвойных и мелколиственных пород) на степи продолжилось. Увеличение ксерофитизации растительности в этот период способствовало усилению почвообразования и формированию на лёссовых отложениях повышенных элементов рельефа степных почв черноземного типа с гуматным типом гумуса. Главные этапы гумусонакопления в почвах региона приходятся на теплые интервалы голоцена: позднеатлантическое время АТ-3 (5,4–7,0 тыс. л. н.), поздний суббореал SB-3 (3,4–2,7 тыс. л. н.) (Воробьева, 2010; Воробьева и др., 2010b). В исследованных нами почвах региона на небольшой глубине встречаются погребенные гумусовые горизонты или участки гумусовых горизонтов, которые являются следами этих потеплений климата голоцена. Серия похолоданий–потеплений на фоне разной влагообеспеченности позднего голоцена (2,7–5,4 л. н.) обусловила формирование в зоне Балаганской лесостепи серых (лесных) и дерново-подзолистых почв, которые могут быть реликтом степных, луговых или лугово-болотных почв, сформировавшихся в ксеротермическом климате голоцена. При дальнейшем похолодании в субатлантический период (2500–0 л. н.) границы тундровой и лесной растительности сместились к югу, что способствовало, как показали наши полевые исследования, эволюционированию среднеголоценовых черноземов в темно-серые и серые метаморфические почвы, серых (лесных) почв и буроземов (дерново-карбонатных почв) – в дерново-подзолистые (остаточно-карбонатные). Местами нижняя часть гумусового горизонта сохранилась в виде второго гумусового горизонта более темного цвета. Таким образом, климатические флуктуации в периоды плейстоцена и голоцена способствовали смещению лесостепи на юг или на север, что приводило к смене ландшафтов и ценозов от тундрово-сухостепных до лугово-степных и лесотаежных и обусловило формирование полигенетических профилей почв с вложенным реликтовым и/или наложенным современным генезисом. В настоящее время в регионе регистрируется один из самых высоких трендов потепления климата на Земле: за последние 40 лет температура возросла на 1–1,3 градуса на фоне тенденции уменьшения суммы годовых осадков (на 1,4 мм/год), повышения температуры почвы и деградации островов многолетнемерзлых пород (Коновалова, Руденко, 2010; Коновалова, Бессолицина, 2011), что влечет за собой ксерофитизацию климата с усилением процессов деградации и эрозии почвенного покрова (Щетников, 2004).

Проведенными полевыми исследованиями с определением классификационного положения почв (Классификация, 2004; Полевой..., 2008; Классификация, 1977; Воробьева, 2009; 2017) было выявлено, что на остепненных пространствах древних террас и пологих склонов южной экспозиции, покрытых облессованными и лёссовидными суглинками (средне- и тяжелосуглинистыми), сформировались черноземы глинисто-иллювиальные дисперсно-карбонатные (AU-AUBI-BCA_{dc(i)}-BCA_{dc}-DC_{nc}-CD_{m,ca}) (рис.2а). На элюво-делювии красноцветных верхнекембрийских пород, представленных мергельно-глинистыми породами, галогенными глинами и алевролитами, известковистыми песчаниками (Николаев, 1948) и характеризующихся некоторым содержанием растворимых солей (хлоридов и сульфатов Na, Ca, Mg) под полынно-злаковой степной растительностью развиты черноземы дисперсно-мицеллярно-карбонатные (остаточно-солонцеватые) (AU_{ao}-AU-BCA_{dc(sn)}-BCA_{mc}-BC_{ca,m}-C_{ca}) (рис.2б). Под пологом разнотравно-злаковых березовых разреженных лесов встречаются серые и темно-серые достаточно- (дисперсно)-карбонатные почвы (АО-AU_{ao}-AU-A_{el}-BT_(dc)-[BCA_{dc,d}-BC_{ca}-C_{ca}]) (рис.2в); под травянистыми сосновыми лесами – дерново-подзолистые достаточно-(дисперсно)-карбонатные почвы (О-AY-EL-(BEL)-BT_r-BT-BC-C_{ca}) (рис. 2е). Сложные профили серых метаморфических (О-AY_{ao}-AY_{el}-BM_r-[RJ-BMK_{tr,mc}-(CAT_{mc})-BC_{mc}]) (рис.2г) и темно-серых метаморфических достаточно-(мицеллярно)-карбонатных почв (АО-AU_{ao}-AU-AU_{el}-BM_{t,dc}-[BCA_{dc}-BCA_{mc}-BC_{ca}-C_{ca}]) формируются под сосново-березовыми травянистыми лесами.

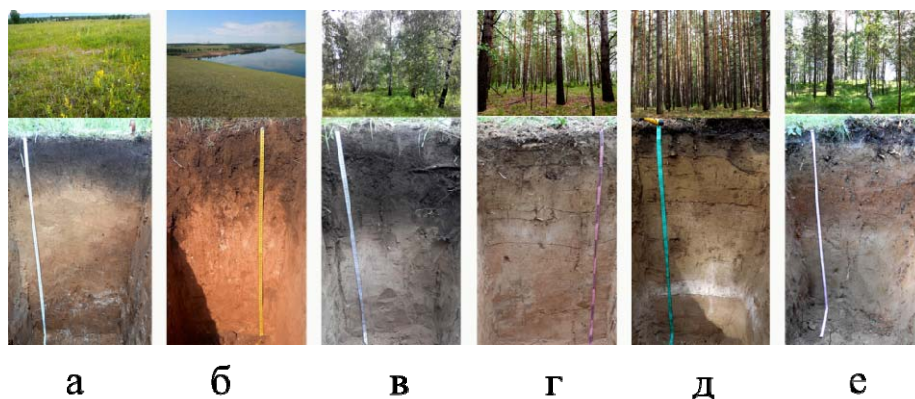


Рисунок 2. Почвы окрестностей пос. Балаганск: а – чернозем глинисто-иллювиальный дисперсно-карбонатный; б – чернозем мицеллярно-карбонатный; в – темно-серая остаточно-(дисперсно)-карбонатная; г – серая метаморфическая остаточно-(мицеллярно)-карбонатная на погребенной ксеропалево-метаморфической почве; д – бурозем элювиированный остаточно-(мицеллярно)-карбонатный (осолоделый); е – дерново-подзолистая остаточно-(дисперсно)-карбонатная

Преобладающими типами в почвенном покрове лесных ландшафтов региона являются буроземы (темные) остаточно-карбонатные, развивающиеся под разнотравно-злаково-мохово-осоковыми березово-сосновыми лесами приводораздельных пространств увалов и на склонах ($AU_{(ca)}-AU_{ca}-BM_{i,ca(hi)}-BC_{m,ca}-C_{ca}$); буроземы элювиированные (глинисто-иллювиированные) остаточно-(мицеллярно)-карбонатные ($O_1-AO_{fl}-AYel-BMi-[AJca-BMK-CAT-Cca-Dca]$) (рис. 2д), формирующиеся под пологом бобово-разнотравно-мертвопокровного соснового леса нижних частей склонов. В зависимости от положения в рельефе и условий дренирования, глубины залегания карбонатов выделяются типичные, элювиированные и оподзоленные разновидности почв. Буроземы исследуемой территории преимущественно характеризуются очень слабой выщелоченностью, т.к. формируются на богатых карбонатами породах, и, по-видимому, относительный возраст залесения данных территорий весьма невелик.

Черноземы характеризуются достаточно высоким содержанием гумуса с постепенным его падением с глубиной, щелочной реакцией среды, возрастающей вниз по профилю, высоким содержанием обменных катионов (табл. 1), что обусловлено накоплением карбонатных новообразований в виде мицелия. Высокое содержание карбонатов, а также средне- и тяжело-суглинистый состав лёссовых пород, на которых формируются типичные и глинисто-иллювиальные черноземы, способствуют замедлению процесса выщелачивания катионов, медленной минерализации растительных остатков, образованию и накоплению гумусовых веществ, созданию устойчивой агрономически ценной структуры, повышая, таким образом, плодородие и агрономическую ценность почв и затормаживая, благодаря формированию плотной дернины, развитие эрозионных процессов. В процессе сельскохозяйственного использования черноземов происходит их деградация, прежде всего потеря гумуса вследствие усиления минерализации и уменьшения поступления в почву органического вещества, эрозионных потерь верхнего гумусированного слоя. Сохранение гумуса, а тем более увеличение его содержания в пахотном слое обеспечит поддержание на оптимальном уровне агрофизических и агрохимических характеристик почв.

Кислотность среды увеличивается, а количество обменных катионов и карбонатов снижается в ряду: черноземы – серые метаморфические – серые почвы – буроземы – дерново-подзолистые почвы. Многие почвы характеризуются сложным строением и формируются на погребенных (частично абрадированных) почвах и отложениях криоаридного климата плейстоцен-голоценового возраста, резко отличающихся от современной почвы по pH, количеству и формам карбонатных новообразований, обменных катионов, по резкому сокращению подвижных соединений Fe. На генезис лесных почв сильное влияние оказывает наличие длительно-сезонной мерзлоты, что выражается в формировании гумусовой толщи меньшей мощности с ее значительным пространственным варьированием, наличии криогенной структуры на глубине 120–180 см. Мало-снежный покров (<40 см за зиму), способствует сезонному промерзанию почв (до 2,5–4,0 м), особенно - на слабо-увлажненных легких и щебнистых отложениях. На территории Балаганской лесостепи встречаются почвы с профилем подзолистых, но имеющие свойства осолоделых почв (Николаев, 1948), что может указывать на наличие некоторой засоленности в прошлом.

Таблица 1

Физико-химические свойства исследованных типов почв окрестностей пос. Балаганск Иркутской области
(Классификация, 2004; Полевой..., 2008; IUSS Working Group WRB, 2014)

Горизонт*	Глубина, см	рН водн.	C _{орг} , %	Гумус %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг			Подвижный Fe ₂ O ₃ , мг/100 г	CaCO ₃ , %
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	∑ обменных катионов		
Разрез БЛ-13/10: Дерново-подзолистая (<i>Albic Retisols</i>) почва, развита на карбонатных лёссовидных суглинках. Злаково-разнотравный сосновый лес									
AУ	3-11	6,58	1,10	1,90	56,40	32,90	89,30	340	н.о.**
EL	11-19	6,41	0,63	1,09	32,90	18,80	51,70	250	н.о.
BEL	19-32	6,36	0,26	0,44	28,20	9,40	37,60	120	н.о.
BT _{el}	32-52	6,23	0,21	0,32	23,50	18,80	42,30	170	н.о.
BC _{t,el}	52-64	6,48	0,15	0,26	23,50	14,10	37,60	200	н.о.
C1	64-85	6,43	0,10	0,18	25,85	5,17	31,02	900	н.о.
C2	85-120	6,94	0,11	0,21	31,02	10,34	41,36	370	н.о.
Разрез БЛ-17/9: Дерново-подзолистая почва (<i>Albic Retisols over Calcaric Cambisol (Gelic)</i>) на погребенной криоаридной палево-метаморфической, сформированной на лёссовидных карбонатных суглинках. Злаково-бобово-осоково-разнотравный сосново-березовый лес									
AY _{el}	2-7	6,10	4,60	7,91	30,00	7,20	37,20	н.о.	0
EL	7-19	6,00	1,10	1,87	18,80	9,80	28,60	н.о.	0
BT	19-30	6,20	0,60	0,95	18,80	9,70	28,50	н.о.	0
BC	30-45	6,80	0,40	0,68	19,40	11,50	30,90	н.о.	2,0
[RJBPL _{mc}]	45-66	7,80	0,50	0,80	25,00	9,60	34,60	н.о.	9,0
[BPL _{mc}]	66-90	8,10	0,40	0,68	28,20	10,30	38,50	н.о.	27,0
[BCA _{mc}]	90-100	8,50	0,50	0,91	31,30	11,60	42,90	н.о.	33,0
Разрез БЛ-14/8: Бурозём элювиированный (глинисто-иллювиированный) остаточного-карбонатный (<i>Dystric Cambisol over Calcaric Cambisol (Gelic)</i>), развит на карбонатных лёссовидных карбонатных отложениях с погребенной криоаридной почвой. Бобово-разнотравно-мертвопокровный сосновый лес									
O _h	3-4	5,87	20,97	34,48	40,04	61,60	101,64	675	0
AY _{el}	4-13	7,24	1,06	0,82	18,48	13,86	35,34	1375	0
BM _i	13-32	7,36	0,33	0,57	21,56	7,80	29,36	675	0
[RJ _{ca}]	32-63	8,52	0,32	0,56	29,26	6,16	35,42	450	19,4
[BPL]	63-78	8,81	0,35	0,60	29,26	6,16	35,42	550	24,3
BCA]	78-87	8,84	0,35	0,61	27,72	9,24	36,96	275	32,9
[C _{ca}]	87-101	8,87	0,41	0,71	29,26	13,86	43,12	325	16,6
[D1 _{ca}]	101-118	8,91	0,56	0,97	30,80	9,24	40,04	325	18,9
[DII _{ca}]	Ниже 118	8,95	0,22	0,39	30,80	12,32	43,12	400	-
Разрез БЛ-17/13: Бурозём темный остаточного-карбонатный (<i>Calcaric Cambisol</i>), развит на элюво-делювии кембрийских алевролитовых сланцев. Разнотравно-злаково-мохово-осоковый мертвопокровный березово-сосновый остепняющийся парковый лес									
AU1 _(ca)	3-14	7,96	2,96	5,11	34,30	13,48	47,78	н.о.	0
AU2 _{ca}	14-25	8,02	2,92	5,03	41,65	17,15	58,80	н.о.	18,0
BM _{i,ca(hi)}	25-35	8,14	1,44	2,49	37,98	11,03	49,01	н.о.	30,0
BC _{m,ca}	35-45	8,20	0,50	0,86	33,08	11,03	44,11	н.о.	31,0
C _{ca1}	45-63	8,34	0,35	0,60	31,85	9,80	41,65	н.о.	23,0
C _{ca2}	63-90	8,45	0,12	0,21	26,95	9,80	36,75	н.о.	14,0
Разрез БЛ-13/11: Серая метаморфическая остаточного карбонатная (<i>Endocalcaric Phaeozem</i>) переуплотнённая почва, развитая на элюво-делювии лёссовидных суглинков (балл 13/11). Остепнённый парковый бобово-разнотравно-злаково-осоковый березово-сосновый лес									
AO	2-4	5,89	5,24	9,03	51,70	14,10	65,80	760	н.о.
AУ	4-14	6,78	2,55	4,40	51,70	37,60	89,30	700	н.о.
AEL	14-26	6,95	1,85	3,19	28,20	14,10	42,30	600	н.о.
BM _t	26-43	7,45	0,49	0,81	33,80	11,30	45,10	720	н.о.
BM _{mc,d}	43-60	7,70	0,38	0,55	37,60	9,40	47,00	450	н.о.
BCA _{mc,d}	60-87	8,73	0,30	0,38	42,30	9,40	51,70	475	н.о.
BC _{mc,d}	87-100	8,58	0,23	0,39	37,60	9,40	47,00	465	н.о.
C _{mc}	100-117	8,45	0,30	0,52	39,48	16,92	56,40	100	н.о.
CD _{dc}	117-125	8,81	0,15	0,26	36,19	15,51	51,70	200	н.о.

Горизонт	Глубина, см	pH водн.	C _{орг} , %	Гумус %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг			Подв. Fe ₂ O ₃ , мг/100 г	CaCO ₃ , %
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	∑ обменных катионов		
Разрез БЛ-17/8: Серая метаморфическая иллювиально-глинистая почва (<i>Luvic Greyzemic Phaeozem over Calcaric Cambisol (Gelic)</i>) на погребённой каштановой дисперсно-(мицеллярно)-карбонатной, сформированной на лёссовидных карбонатных суглинках, подстилаемых кембрийскими алевролитами. Злаково-разнотравный сосновый лес с подростом сосны									
AY	3-9	6,50	5,41	9,33	42,50	7,50	50,00	н.о.	0
AEL	9-18	6,10	2,33	4,02	25,00	8,80	33,80	н.о.	0
BM _(el)	18-36	5,90	0,72	1,24	20,00	10,00	30,00	н.о.	0
BC _(t)	36-52	7,20	0,82	1,43	26,30	7,50	33,80	н.о.	0
[RJ _{mc}]/BC _t	52-70	7,80	0,63	1,09	27,50	8,80	36,30	н.о.	6,0
[BMK _{dc}]	70-80	8,20	0,70	1,21	30,00	12,50	42,50	н.о.	26,0
[CAT _{dc}]	80-104	8,40	0,54	0,93	35,00	11,30	46,30	н.о.	30,0
[C _{ca}]	104-118	8,20	0,51	0,88	37,50	16,90	54,40	н.о.	36,0
[CD _{ca}]	118-125	8,60	0,30	0,52	30,00	13,10	43,10	н.о.	44,0
Разрез БЛ-14/5: Темно-серая метаморфическая остаточная карбонатная почва (<i>Endocalcaric Luvic Phaeozem</i>)), развита на лёссовидных карбонатных суглинках. Осоково-разнотравно-злаковый березовый разреженный лес									
AO	1-3	6,46	15,58	26,85	82,72	23,26	105,98	1025	0,2
AU _(ao)	3-12	6,00	7,40	12,75	38,77	23,27	62,04	1450	0,2
AU	12-29	6,57	3,17	5,46	36,19	19,38	55,57	1650	0
AU _{el}	29-36	6,21	1,77	3,05	31,02	15,51	46,53	900	0
BM	36-55	6,47	1,14	1,96	31,02	25,85	56,87	1500	0,2
[BCA _{dc,d}]	55-85	7,78	0,49	0,84	46,53	25,85	72,38	350	39,0
[BC1 _{ca}]	85-100	7,91	0,44	0,75	41,36	15,51	56,87	550	18,0
[BC2 _{ca}]	100-120	7,96	0,41	0,70	37,60	18,80	56,40	325	15,3
[C _{ca}]	120-↓	7,94	0,47	0,81	37,60	23,50	61,10	500	13,0
Разрез БЛ-14/4: Чернозем глинисто-иллювиальный мицеллярно-карбонатный метаморфизованный (<i>Endocalcaric Luvic Chernozem (Loamic)</i>), развита на элювии продуктов выветривания кембрийских алевролитов. Разнотравно-бобово-злаковая олуговелая степь									
AU _(ao)	0-10	6,70	3,64	6,27	45,00	12,10	57,10	1400	0,4
AU	10-25	6,71	1,99	3,43	41,65	13,26	54,91	1600	0,4
BI _{dc}	25-43	8,20	1,05	1,48	38,25	14,67	52,92	1800	9,0
BCA _{mc}	43-75	8,65	0,52	0,90	48,02	15,40	63,42	800	14,0
BC _{ca}	75-91	9,05	0,26	0,45	33,07	15,40	48,47	780	29,0
C _{ca}	91-115	9,20	0,09	0,15	30,87	20,58	51,45	750	28,3
Разрез БЛ-17/4: Агрочернозем глинисто-иллювиальный мицеллярно-карбонатный постагрогенный (натечно-карбонатный), (<i>Endocalcaric Luvic Chernozem (Aric, Siltic)</i>) развита на делювии кембрийских алевролитов. Злаковая келериево-мятликовая степь, залежь									
PU _{ra,ic}	0-10	8,10	4,41	7,60	45,00	12,50	57,50	н.о.	0
PU _(ic)	10-30	8,10	4,20	7,24	47,50	12,50	60,00	н.о.	0
AU _(ic) Линза	31-35	8,50	4,52	7,79	45,00	13,80	58,80	н.о.	0
AU	30-50	7,80	3,90	6,72	47,50	16,30	63,80	н.о.	0
BI	35-50	7,90	1,63	2,81	30,00	18,80	48,80	н.о.	0
BCA _{i,dc}	50-55	8,00	1,11	1,91	30,00	11,30	41,30	н.о.	13,0
BCA _{mc}	55-73	8,30	1,10	1,90	22,50	2,50	25,00	н.о.	17,0
BC _{ca}	73-85	8,20	0,83	1,43	32,50	12,50	45,00	н.о.	21,0
C _{ca}	85-95	8,10	0,82	1,42	32,50	8,80	41,30	н.о.	18,0

Примечание:

* По (Классификация, 2004).

** Не определялось

Дополнительным элементом степного почвообразования в районе исследования является остаточная солонцеватость черноземов, сформированных на элювии кембрийских алевролитов, способствующая формированию столбчатости и высокой плотности иллювиальной толщи почвы, а также влияющая на процесс накопления и распространения гумуса в почвах. Остаточную солонцеватость можно связать с влиянием реликтового засоления почвообразующих пород,

образовавшихся в условиях соответствующих геологических структур и гидрогеологических условий, а также с напорно-капиллярным переносом минерализованных пластово-трещинных вод сульфатно-хлоридно-кальциево-магниево-натриевого состава (Николаев, 1948), связанных с геологическими месторождениями соляных залежей (образованных в древних лагунах эпиконтинентальных морей или синклиналиных бассейнов Сибирской платформы). Сильная пенепленизация Сибирской платформы в эпоху альпийского орогенеза и последующее расчленение пенеплена на систему эрозионных хребтов и плоскогорий, а также глубокое врезание речных долин и расположение гидрографической сети в соответствии мульдообразным (по оси мульды) залеганием пород, слагающих сибирскую плоскую возвышенность в ее южной половине, где протекает река Ангара вдоль протерозойских и каледонских простираций (каледонской складчатости), благоприятствовали выходу на поверхность напорных подземных вод, которые несли соли из глубинных солевых залежей. Миграции солей могли также способствовать и напорные подмерзлотные и внутримерзлотные воды. Вытесняя в почвенном поглощающем комплексе кальций, натрий, соединяясь с гумусом, может мигрировать в водных растворах (с почвенным и боковым грунтовым стоком) вниз по почвенному профилю. Закономерное взаимодействие процессов гумусообразования и гумусонакопления, карбонатизации и осолонцевания составляют суть и определяют направленность степного почвообразования в регионе, формируют почвенный покров степных ландшафтов района, характеризуя основные зональные черты лесостепного ландшафта. Глееземы и темногумусовые глеевые почвы развиваются в пойменных понижениях.

Для исследуемых почв, сформированных как на лёссовидных породах, так и на красноцветных отложениях кембрийских алевролитов, характерно достаточно высокое содержание подвижного железа для горизонтов гумусовой толщи. Повышение содержания подвижного железа в почвах коррелирует с увеличением количества гумуса, что связано с формированием железисто-гумусовых комплексов, мигрирующих при подкисления кислотами, образующимися в результате разложения растительных остатков. Элювиальный и подзолистый процессы буроземов, дерново-подзолистых и серых почв резко обедняют количество подвижных форм железа в профиле почв. Уменьшение промывного режима и усиливающаяся карбонатность (щелочность) профиля, способствуют потере растворимости гумусово-железистых комплексов, закреплению и накоплению соединений железа в почвах.

Гранулометрический состав исследуемых почв, преимущественно от средне-тяжелосуглинистый до глинистого (рис.3), изменяется по профилю за счет процессов лёссиважа (в дерново-подзолистых и серых почвах), иллювиирования глины и метаморфического оглинивания (в буроземах, серых метаморфических почвах и черноземах). Буроземы, формируясь преимущественно в элювиальных положениях рельефа на элюво-делювии кембрийских алевролитов, характеризуются тяжелосуглинистым составом с его постепенным облегчением вниз по профилю и обогащением обломками плитняка почвообразующих пород. Ареалы агрочерноземов, располагаясь на пологосклоновых равнинных территориях «столовых» увалов древней поверхности выравнивания, обогащаются частицами песка и пыли, сносимых водными и дефляционными потоками с вышележащих по рельефу пространств.

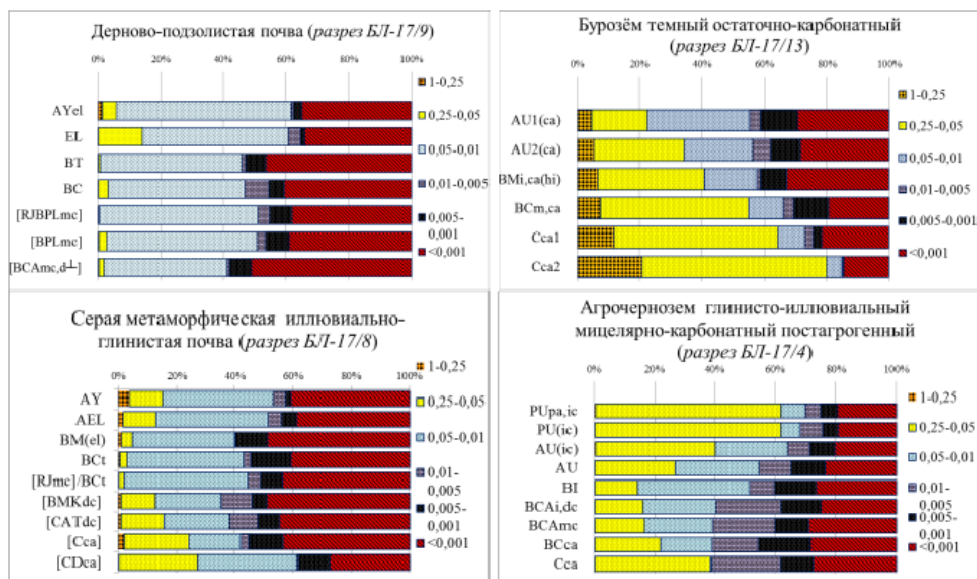


Рисунок 3. Гранулометрический состав исследованных типов почв

Почвенные профили серых метаморфических и дерново-подзолистых почв с погребенными горизонтами (или толщами почв) характеризуются двойным максимумом аккумуляции глинистого материала иловато-мелкопылеватого состава. Гранулометрический состав исследуемых почв в сочетании с содержанием карбонатов, обменных катионов и других свойств почв отграничивает разные этапы почвообразования и осадконакопления голоцена и плейстоцена.

Минералогический состав исследуемых почв тоже, по-видимому, связан с разными природно-климатическими обстановками формирования профиля. В валовом химическом составе почв кроме SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 отмечается повышенное содержание CaO за счет присутствия остаточных форм карбонатов и K_2O , что может быть связано с наличием гидрослюдов. Содержание ила варьирует в почвах и по профилю от 12 до 19%. К особенностям выветривания и почвообразования на верхнекембрийских породах Ангаро-Удинского водораздела следует отнести характер профильного распределения реликтовых глинистых минералов тонкодисперсных фракций почв. В буроземах, черноземах и серых метаморфических почвах наблюдается достаточно равномерное распределение ила и минеральных фаз, преобладающим компонентом которых являются неупорядоченные смешанослойные хлорит-вермикулитовые образования с небольшой примесью слюда-сметитов, которые вместе с гидрослюдами триоктаэдрического типа аккумулируются в процессе педогенеза в верхней части профиля. Несколько в меньшем количестве присутствуют в профиле хлорит с каолинитом. Для гумусовой толщи серых и темно-серых почв и глинисто-иллювиальных черноземов характерно некоторое облегчение илом с заметным повышением количества триоктаэдрических гидрослюдов, а для средней и нижней частей профиля – увеличение содержания смешанослойных минералов и хорошо окристаллизованных форм каолинита с хлоритом (с преобладанием каолинита) – до 28–40% (Воробьева, 1970; Чижикова, 2018). Дифференциацию минерального состава профиля связывают с переслаиванием отложений разного генезиса, в составе которых принимал участие материал древних кор выветривания каолинитового состава.

Богатство почвообразующих пород исследуемого района минералами, их структурность, гранулометрический состав, сложение и карбонатность, наряду с последующим развитием на этих толщах серых, темно-серых, серых метаморфических, темно-серых метаморфических почв и черноземов способствовали развитию хорошего травянистого покрова, противодействующего развитию эрозии и повышающего экологическую устойчивость почвенного покрова. Современные почвообразовательные процессы в березово-сосновых биоценозах способствуют интенсивному элювированию катионов и оподзоливанию, что выражается в снижении pH, отмытости верхней части профиля от карбонатов, снижении содержания гумуса, т.е. приводят к относительному снижению качества лесных почв. Но несмотря на это, серые, серые метаморфические и дерново-подзолистые почвы обладают еще достаточно высоким уровнем плодородия и в случае их введения в сельскохозяйственный оборот и при применении соответствующих агротехнологий и удобрений могут давать вполне достойные урожаи. Наибольший уровень природного плодородия соответствует черноземам, темно-серым и темно-серым метаморфическим почвам, сформированным на лёссах и лёссовидных породах. Несколько меньшее плодородие соответствует данным типам, сформированным на элюво-делювии кембрийских алевролитов, придающих почвам своеобразную красноватую окраску.

Бобово-злаковое разнотравье лесостепных биоценозов, высокая карбонатность почвенного мелкозема, его тяжелосуглинисто-глинистый состав и рыхлость сложения, гидрослюдисто-смешанно-слойный (хлорит-вермикулитовый) состав минеральной матрицы почвообразующих пород способствуют образованию и накоплению гуматного, фульватно-гуматного (у черноземов, темно-серых и темно-серых метаморфических почв) и гуматно-фульватного и фульватного гумуса (у серых метаморфических, буроземов и дерново-подзолистых почв), формированию высокой поглотительной способности и насыщенности основаниями, т.е. повышению природно-ресурсного потенциала почв региона. Сложное полигенетическое гетерохронное строение профиля отражает смену условий почвообразования в голоцене–плейстоцене. Современные элементарные процессы почвообразования обуславливают наложение и интеграцию современных признаков на профили более древних почв. Лесные почвы окрестностей пос. Балаганск сформированы на лёссовидных отложениях в холодном климате по типу криоаридных или палево-метаморфических (часто осолоделых) почв, местами с уничтоженной гумусовой толщей. Эти погребенные толщи мы рассматриваем как реликт почвообразования плейстоценового возраста. Плейстоценовый период в истории Сибири был ознаменован окончательным оформлением горных систем юга Восточной Сибири и глобальными изменениями климата, обусловившими развитие в ряде районов Сибири горно-долинных оледенений. В

результате постледниковых потеплений на обширной территории Сибири вышедшие на поверхность кембрийские и другие отложения были перекрыты лёссовыми и лёссовидными отложениями, возможно, флювиально-эолового генезиса, на которых в холодный и сухой сартанский период лесная растительность сменилась на тундрово-степную и сформировались палео-криометаморфические (палевые и криоаридные) почвы. Сингенетический характер перигляциального характера почвообразования и осадконакопления со слабым гумусонакоплением способствовал формированию сложных полигенетичных толщ с погребенными горизонтами или педокомплексами в условиях климатических флуктуаций голоцена–плейстоцена. Граница голоцена и плейстоцена в исследуемых почвах часто находится в В-горизонте – на глубине 40–60 см.

В последнее время все больше публикаций, основанных на палеопочвенных реконструкциях, доказывают господство степных ландшафтов и почв в атлантическом периоде голоцена на территории Центральной лесостепи (Александровский, Александровская, 2005; Чендев, 2004, 2005). И в Сибири в среднем голоцене (~7–7,8 тыс. л. н.) сформировался ксеротермический климат малого постледникового периода, обусловивший деградацию мерзлоты в регионе и ксерофитизацию растительного покрова. Аридизация климата в это время способствовала криогенной аккумуляции углекислого кальция и частично натрия (сода) в почвах региона. Рыхлые карбонатные лёссовидные суглинки, перекрывшие плащом плейстоценовые почвы, способствовали формированию плодородных черноземов (текстурно-карбонатных). При последующем наступлении более холодного субатлантического климатического периода произошло смещение границ почвенно-растительных зон к северу, что привело к «обратному» эволюционированию черноземов текстурно-карбонатных в черноземы глинисто-иллювиальные и темно-серые метаморфические почвы, темно-серых почв – в серые; серых почв – в дерново-подзолистые.

Таким образом, почвенный покров исследуемой территории, обладая достаточно высоким уровнем природного плодородия, характеризуется значительным разнообразием, а структура почвенного покрова – большой комплексностью. Но при введении почв в сельскохозяйственный оборот необходимо проведение противозерозионных мероприятий, предотвращающих размыв рыхлых лёссовидных суглинков и лёссовых отложений и снос иловатых и гумусовых частиц. Эрозия полей отчетливо проявляется на аэро- и космоснимках характерным «полигонально-промоинным» и «волнисто-шагреновым» рисунком склоновых поверхностей, микрокомплексным и «сетчатым» строением поверхности севооборотных массивов территории района, что связано как со сносом и перераспределением гумусовых веществ и ила почв вниз по склону тальми и дождевыми водами и процессами дефляции, так и с развитием карстовых явлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексного исследования почв Балаганской лесостепи Иркутской области, проведенного с использованием традиционных методов и современных методологических подходов, получены новые фактические данные о почвенно-растительном покрове изучаемой территории, влиянии различных факторов на особенности генезиса почв, их свойства, плодородие и экологическое состояние. Представленные данные о физико-химических свойствах основных типов почв исследуемого района свидетельствуют о значимом влиянии на свойства почв почвообразующих пород территории исследования: дериватов лёссов и кембрийских алевролитов, определяющих литогенную матричность почвообразования. Карбонатная составляющая почвообразующих пород, рыхлость, пылеватость и выветрелость их элювиально-делювиальных толщ, насыщенность основаниями, обуславливая активность идущих в почвах процессов гумусообразования и гумусонакопления, способствуют формированию почвенного плодородия.

Достаточно высокое природное плодородие исследованных почв (Балаганской лесостепи) обусловлено формированием темного гумусового горизонта с преобладанием гуматов Ca, Mg, средне-тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, хорошей оструктуренностью и порозностью, высокой емкостью катионного обмена и насыщенностью обменными катионами, присутствием большого количества карбонатов, затормаживающих процессы элювирования и оподзоливания почв. Все эти свойства обеспечивают достаточно высокий эколого-ресурсный потенциал почвенного покрова исследуемой территории.

Проведенные исследования выявили особенности почв окрестностей Балаганска, связанные с их формированием под влиянием как степной, так и лесной растительности, менявшейся при колебаниях климата, смены которого наиболее ярко выражены в условиях лесостепи, отличающейся неустойчивым характером увлажнения (переходным от влажного к засушливому). Свойства и строение изученных почв преимущественно обусловлены климатическими

флуктуациями в периоды плейстоцена и голоцена и смещением лесостепи на юг или на север со сменой ландшафтов и ценозов от тундрово-сухостепных до лугово-степных и лесостепных. Во многих исследованных почвенных типах Балаганской лесостепи были выявлены погребенные почвы и горизонты, генетическое строение и физико-химические свойства которых свидетельствуют о менее теплых условиях их формирования. Проведенные исследования подтверждают гипотезу смены климатических условий от тундро-степного голоценового оптимума (9,5–4,3 тыс. л. н.) через период суббореальной аридизации (5–2,5 тыс. л. н.), сократившей мощность и содержание гумуса в почвах, до похолодания субатлантического периода (2,6–0 тыс. л. н.), приведшего к смещению к югу границ тундровой и лесной растительности и эволюционированию черноземов в серые почвы, а серых – в дерново-подзолистые. Сложный реликтовый и наложенный на него современный генезис почв, обусловили большое почвенное разнообразие и комплексность почвенного покрова района исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапитов Н.Н. *К вопросу о происхождении чернозема*. Иркутск: Издательство Восточно-Сибирского отдела Русского географического общества. 1881. Т. IX, № 3–4. С. 16–17
2. Александровский А.Л., Александровская Е.И. *Эволюция почв и географическая среда*. М.: Наука, 2005. 223 с.
3. *Атлас. Иркутск и Иркутская область*. Иркутск: ФГУП «ВостСибАГП», Росткартография, 2010. 48 с.
4. *Атлас. Иркутская область: экологические условия развития*. Москва–Иркутск: Омская картогр. ф-ка Роскартографии, 2004. 90 с.
5. Берг Л.С. О почвенной теории образования лёсса // *Изв. Геогр. ин-та*. 1926. Вып. 6. С. 73–92.
6. Беркин Н.С., Филиппова С.А., Руденко Г.В. *Природные условия административных районов*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1993. 300 с.
7. Бояркин В. М., Бояркин И. В. *География Иркутской области*. Иркутск: Сарма, 2011. 255 с.
8. Величко А.А., Морозова Т.Д. Основные черты почвообразования в плейстоцене на Восточно-Европейской равнине и их палеогеографическая интерпретация // *Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв*. М.: ГЕОС, 2015. С. 321–337.
9. Воробьева Г.А. Проблемы индексации почвенных горизонтов, номенклатуры почв Прибайкалья и их классификации // *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология» 2017. Т. 21. С. 61–71*.
10. Воробьева Г.А. Почвообразующие породы южной части Лено-Ангарского плато // *Почвы юга Средней Сибири и их использование*. Иркутск: Изд-во АН СССР, 1970. С. 30–38
11. Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е., Липнина Е.А., Роговской Е.О., Бердников И.М. Палеопочвы сартанского возраста в разрезах геологических объектов Прибайкалья // *Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 85-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала / Гранина Н.И. (ред.)*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2016. 1 электрон. опт. диск. (CD-ROM). С. 417–424
12. Воробьева Г.А. *Почва как летопись природных событий Прибайкалья (проблемы эволюции и классификации почв)*. Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та, 2010. 205 с.
13. Воробьева Г.А. *Почвы Иркутской области: вопросы классификации, номенклатуры и корреляции*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2009. 149 с.
14. Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е. Природные и культурные феномены Прибайкалья на рубеже плейстоцена и голоцена // *Тр. II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале*. М.: ИА РАН, 2008. Т.1. С. 53–55.
15. Воробьева Г.А., Бердникова Н.Е., Вашукевич Н.В., Куклина С.Л., Чайка Н.В. Следы каргинского почвообразования в долине р. Белой (южное Прибайкалье) и их влияние на агропроизводственные свойства почв // *Земледелие, почвоведение и агрохимия*. 2010а №4 (21). С. 32–36.
16. Воробьева Г.А., Вашукевич Н.В., Куклина С.Л. Почвенные ресурсы — необходимый компонент стратегии устойчивого развития Иркутской области // *Известия Ирк. гос. экон. Академии*. 2010b Сер. Экология и природопользование. № 4. С. 346–352
17. Воробьева Г.А., Мац В.Д. Эволюция почвообразования и субэарального осадконакопления в Байкало-Енисейской Сибири // *Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем*: Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию кафедры почвоведения Иркутского государственного университета. Иркутск, 4–7 сентября 2006 г. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2006. С. 18–24.
18. Воробьева Г.А., Мац В.Д., Шимараева М.К. Палеоклиматы позднего миоцена, плиоцена и эоплейстоцена Байкальского региона // *Геология и геофизика*. 1995. Т. 38. № 8. С. 82–96.
19. Карнаузов Н.И. *Мелиорация почв*. Иркутск: Изд-во Иркутского госуниверситета, 1977. 89 с.
20. Карнаузов Н.И. *Мелиорация засоленных почв*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1980. 95 с.
21. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

22. *Классификация и диагностика почв СССР*. Егоров В.В. и др. М.: Колос, 1977. 225 с.
23. Коновалова Т.И., Бессолицина Е.П. Устойчивость и направления антропогенных преобразований геосистем южной части Средней Сибири // *Известия Иркутского государственного университета. Сер. «Науки о Земле»*. 2011. Т.4 №2. С. 120–137.
24. Коновалова Т.И., Руденко Г.В. Основные этапы развития таежных геосистем юга Средней Сибири // *Известия Иркутского государственного университета. Сер. «Науки о Земле»*. 2010. Т. 3. № 1. С. 39–53.
25. Кузьмин М.И., Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А. и др. Ритмы позднего кайнозоя и климатические вариации Азии по данным глубоководного бурения дна озера Байкал // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск: Изд-во СО РАН, фил. «Гео», 2001. С. 146–159.
26. Логачев Н.А., Ломоносова Т.К., Климанова В.М. *Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра*. М.: Наука, 1964. 196 с.
27. Макеев О.В. *Дерновые таежные почвы юга Средней Сибири (генезис, свойства и пути рационального использования)*. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1959. 347 с.
28. Макеев О.В., Ногина Н.А. Классификация и диагностика почв Средней и Восточной Сибири // *Краткие сообщения Бурят. комплексного НИИ СО АН СССР. Сер. естеств. наук*. 1962. вып. 3. С. 65–72.
29. Мартынова Н.А., Швецов С.Г., Белоусов В.М., Комаров А.Н. Влияние лёссовых покровов и кембрийских пород на свойства и разнообразие почвенного покрова Иркутской области (окрестностей пос. Балаганск) // *Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала / Гранина Н.И. (отв.ред.)*. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2016. С. 171–178.
30. Надеждин Б. В. *Лено-Ангарская лесостепь* (почвенно-географический очерк). М.: АН СССР, 1961. 327 с.
31. Николаев И.В. *Почвы Иркутской области*. Иркутск: ОГИЗ, 1948. 421 с.
32. *Полевой определитель почв*. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
33. *Почвоведы и агрохимики Сибири и Дальнего Востока: биографо-библиогр. справочник / В. А. Хмелев (отв. ред.)*. Новосибирск: Изд-во Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН, 2004. 333 с.
34. Прейн Я.П. Очерк почв Балаганского округа // *Материалы по исследованию землепользования и хозяйственного быта Иркутской и Енисейской губернии*. 1890. Т. II, вып. 5. С. 64–83.
35. Рыжов Ю.В. Эрозивно-аккумулятивные процессы в бассейнах малых рек юга Восточной Сибири // *География и природные ресурсы*. 2009. № 3. С. 94–101.
36. Семеней Е. Ю. *Стратиграфия и корреляция отложений верхнего неоплейстоцена юга Сибирской платформы и Тункинского рифта*. Автореферат дисс. на соискание ученой степени к. г.-м. н., Санкт-Петербург, 2015. – 23 с.
37. Семеней Е.Ю., Щетников А.А., Филинов И.А., Вещева С.В. Условия формирования и корреляция отложений опорных разрезов верхнего неоплейстоцена юга Восточной Сибири по литохимическим данным // *Вестник ИрГТУ*. 2014. №9 (92) С 89-99.
38. *Теория и практика химического анализа почв*. Под ред. Л.А. Воробевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
39. Чендев Ю.Г. *Естественная эволюция почв Центральной лесостепи в голоцене*. Белгород: Изд-во Белгородского ун-та, 2004. 200 с.
40. Чендев Ю.Г. *Естественная и антропогенная эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене* // Автореферат дисс... д. г. н.: 25.00.23 / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Москва, 2005. 47 с.
41. Чернышева О.А. *Особенности современного распространения реликтовых сосудистых растений Верхнего Приангарья* // Автореферат дисс. на соискание ученой степени к.б.н., Улан-Удэ, 2012.- 24 с.
42. Чижикова Н.П., Гамзиков Г.П., Четко Е.С. Особенности профильного распределения и кристаллохимии слоистых силикатов в почвах лесостепи Предбайкалья // *Почвоведение*. 2018. № 1. С. 93–110. doi: [10.7868/S0032180X18010100](https://doi.org/10.7868/S0032180X18010100)
43. Щетников А.И. Тенденции динамики вещества южносибирских геосистем в условиях глобальных изменений природной среды и антропогенных нагрузок // *Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири*. Новосибирск: Наука, 2004. С. 20–31.
44. *Экологический атлас Байкальского региона / Отв. ред. Батуев А.Р., Корытный Л.М., Хмельнов А.Е.* Иркутск: ИГ СО РАН, 2017. 378 с.
45. Ярмолюк В.В., Кузьмин М.И. Корреляция эндогенных событий и вариаций климата в позднем кайнозое Центральной Азии // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2006. Т 14. № 2. С. 3–25.
46. Mats V.D., Lomonosova T.K., Vorobyeva G.A., Granina L.Z. Upper Cretaceous-Cenozoic clay minerals of the Baikal region (Eastern Siberia) // *Applied Clay Science*. 2004. Vol. 24. P. 327-336. doi: [10.1016/j.clay.2003.08.008](https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.08.008)
47. Firestone R. B., West A., Kennett J.P. et al. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling // *PNAS*. 2007. Vol.104. No. 41. P.16016-16021. doi: [10.1073/pnas.0706977104](https://doi.org/10.1073/pnas.0706977104)
48. *IUSS Working Group*. WRB, World Reference Base for Soil Resources Inter. 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 21.10.2018; принята 07.02.2020
Опубликована 10.02.2020

Сведения об авторах:

Мартынова Наталья Александровна – старший преподаватель кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов биолого-почвенного факультета Иркутского государственного университета (Иркутск, Россия); natamart-irk@yandex.ru

Власова Виктория Юрьевна – студентка кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов биолого-почвенного факультета Иркутского государственного университета (Иркутск, Россия); vlasova09v97@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/)

PROPERTIES AND GENESIS OF SOILS OF THE BALAGANSK FOREST-STEPPE IN CENTRAL SIBERIA AND THEIR ECOLOGICAL AND RESOURCE POTENTIAL

© 2019 N.A. Martynova , V.Yu. Vlasova

Address: Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. E-mail: natamart-irk@yandex.ru

The aim of the study. *To study the properties and genesis of natural soils of forest-steppe areas of Balagansk steppe.*

Location and time. *The environs of Balagansk settlement in the Balagansky district of Irkutsk region, 2013-2018.*

Methodology. *Combined field and laboratory studies of soil cover and soil properties using soil-morphological, pedo-lithological, climatostratigraphic, botanical, geological-geomorphological and comparative geographical methods, as well as various physical and chemical analyses.*

Main results. *The study of soil properties of the Balagansk' forest-steppe and assessment of their classification position revealed the basic regularities of geographical distribution of soils. In steppe areas of the studied region clay-illuvial and textural-carbonate chernozems were formed. The forest vegetation favoured the developed of residual-carbonate gray, dark gray, gray and dark gray metamorphic and burozemic soils; the floodplain areas are predominantly occupied by gley soils and dark-humus gleic soils.*

Conclusion. *The study of soil and vegetation cover of the Balagansk' forest-steppe showed that soils were developed on the eluvium-deluvium of carbonate Cambrian red-colored siltstones and loess cover and have sufficiently high natural fertility and ecological and resource potential. The soils of the investigated area are characterized by a large variety and complex polygenetic structure of the soil profile, which reflects the change of soil formation' conditions during Holocene-Pleistocene.*

Key words: soil cover; Balagansk forest-steppe; soil genesis; soil properties; ecological and resource potential

How to cite: *Martynova N.A., Vlasova V. Yu. Properties and genesis of soils in the Balagansk forest-steppe of Central Siberia and their ecological and resource potential // The Journal of Soils and Environment. 2019. 2(4). e33. doi: [10.31251/pos.v2i4.33](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.33) (in Russian with an English abstract).*

REFERENCES

*Received 21 October 2018
Accepted 07 February 2020
Published 10 February 2020*

About the authors:

Martynova Natalia A. – senior lecturer of the Department of soil science and land resources assessment of the Soil-Biology Faculty in Irkutsk State University (Irkutsk, Russia); natamart-irk@yandex.ru

- Vlasova Victoria Yu.** – student of of the Department of Soil Science and land resources assessment of the Soil-Biology Faculty of the Soil-Biology Faculty in Irkutsk State University (Irkutsk, Russia); vlasova09v97@mail.ru Agapitov N. N. *To the question about the origin of Chernozem.* Irkutsk: Publishing house of the East Siberian Department of the Russian geographical society. 1881. Vol. IX, No. 3-4. p. 16-17. (in Russian)
- Alexandrovsky A. L., Alexandrovskaya E. I. *Evolution of soils and geographic environment.* Moscow: Nauka Publ, 2005. 223 p. (in Russian)

3. *Atlas. Irkutsk and Irkutsk region*. Irkutsk: FSUE "Vostsibugol", Roskartografia Publ., 2010. 48 p. (in Russian)
4. *Atlas. Irkutsk region: ecological conditions of development*. OTV. ed.: A. R. Batuev, A.V. Belov, B. A. Bogoyavlensky. Moscow-Irkutsk: Omsk cartogr. the factory of Roskartografiya Publ., 2004. 90 p. (in Russian)
5. Berg L. S. About soil theory of loess formation. In book: *Proceed. of the Geogr. Institute*, 1926, Vol. 6, p.73-92.
6. Berkin N. C., Filippov S. A., Rudenko G. V. *The Natural conditions of the administrative districts*. Irkutsk: ISU Publishing house, 1993. 300 p. (in Russian)
7. Boyarkin V. M., Boyarkin I. V. *Geography of Irkutsk region / 7th ed., revised and additional*. Irkutsk: Sarma Publ., 2011. 255 p. (in Russian)
8. Velichko A.A. Morozova T.D. Basic features of soil formation in the Pleistocene on the East European plain and their paleogeographic. interpretation. In book: *Evolution of soils and soil cover. Theory, diversity of natural evolution and anthropogenic transformations of soils*. Moscow: GEOS Publ., 2015. p. 321–337. (in Russian)
9. Vorobyova G. A. The problem of indexing of soil horizons and nomenclature of soils of the Baikal region and their classification, *The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Biology. Ecology»*, 2017, Vol. 21, p. 61–71. (in Russian)
10. Vorobyeva G.A. Soil-Forming rocks of the southern part of the Leno-Angarsky plateau. In book: *Soils of the South of Central Siberia and their use*. Irkutsk: Publishing house of Academy of Sciences of the USSR, 1970. p.30–38.
11. Vorobyeva G.A., Berdnikova N.E., Lipnina E.A., Rogovskoy E. O., Berdnikov I. M. Paleosols of Sartan age in the sections of geoarchaeological objects of the Baikal region. In book: *Soil as a connecting link in the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems* [Electronic resource]: Proceed. of the IV Inter. Conf.. Scienc.-Pract. Conf., devoted to the 85th Anniversary of the Department of Soil Science and Assessment of Land Resources of ISU and to day of Baikal (ed. N. I. Granina). Irkutsk: ISU Publishing house, 2016. p. 417–424. (in Russian)
12. Vorobyeva G. A. *Soil as a chronicle of natural events of the Baikal region (the problems of evolution and classification of soils)*. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University, 2010. 205 p. (in Russian)
13. Vorobyeva G. A. *Soils of Irkutsk region: classification, nomenclature and correlation issues*. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University, 2009. 149 p. (in Russian)
14. Vorobyeva G. A., Berdnikova N.E. Natural and cultural phenomena of Baikal region at the boundary of Pleistocene and Holocene. In book: *Proceed. of II (XVIII) Russian archaeological Congress in Suzdal*. Vol.1. Moscow: IA RAS Publ., 2008, p. 53–55. (in Russian)
15. Vorobyeva G.A., Berdnikova N.E., Vashukevich N.V., Kuklina S.L., Chaika N.V. Traces of Karginsky' soil formation at the valley of the Belaya river (southern Baikal region) and their influence on agricultural properties of soils, *Zemledelie, pochvovedenie i agrokhimiya*, 2010a, No. 4 (21), p. 32–36. (in Russian)
16. Vorobyeva G. A., Vashukevich N. V., Kuklina S. L. Soil resources as a necessary component of the sustainable development strategy of the Irkutsk region, *Izvestiya of Irkutsk State Economic Academy, Series: Ecology and nature management*, 2010b, No. 4. p. 346–352. (in Russian)
17. Vorobyeva G. A., Matz V. D. Evolution of soil formation and subaerial sedimentation in Baikal-Yenisei Siberia. In book: *Soil as a link of functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems*: Proceed. of the II Inter. Sci. and Prac. Conf. devoted to the 75th anniversary of the Department of Soil Science of Irkutsk State University, Irkutsk, 4-7 September 2006-Irkutsk: Publishing House of Irkutsk State University, 2006. p. 18–24. (in Russian)
18. Vorobyeva G. A., Matz V. D., Shimaraeva M. K. Paleoclimates of the late Miocene, Pliocene and Eopleistocene of Baikal region, *Geology and Geophysics*, 1995, Vol. 38, No. 8, p. 82–96. (in Russian)
19. Karnaukhov, N. I. *Reclamation of soils*. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University, 1977. 89 p. (in Russian)
20. Karnaukhov N. I. *Reclamation of saline soils*. Irkutsk: Publishing house of Irkutsk State University, 1980. 95 p. (in Russian)
21. *Classification and diagnostics of soils of Russia / Authors and compilers: Shishov LL., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I.*. Smolensk: Oikumena, 2004. 342 p. (in Russian)
22. *Classification and diagnosis of soils of the USSR / Authors and compilers: Egorov V.V., Friedland V.M., Ivanova E.N., Rozova N.N., Nosin V.A. Frieв., T.A.* Moscow: Kolos, 1977. 225 p. (in Russian)
23. Konovalova T. I. Bessolitsina E. P. Stability and directions of anthropogenic transformations of geosystems of the southern part of Central Siberia, *The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Earth Sciences»*, 2011, Vol.4, No.2, p. 120–137. (in Russian)
24. Konovalova. I. Rudenko G. V. Main stages of taiga geosystems' development at the South of Central Siberia, *The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Earth Sciences»*, 2010, Vol.3, No.1, p. 39–53. (in Russian)
25. Kuzmin M.I., Karabanov E.B., Prokopenko A.A. and others. *Rhythms of the late Cenozoic and climatic variations of Asia according to the data of deep-water drilling of the bottom of lake Baikal*. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS, Phil. "Geo", 2001. p. 146–159. (in Russian)
26. Logachev N.A., Lomonosova T. K., Klimanova V. M. *Cenozoic deposits of the Irkutsk amphitheater*. Moscow: Nauka Publ., 1964. 196 p. (in Russian)

27. Makeev O.V. *Turf taiga soils of the south of Central Siberia (Genesis, properties and ways of rational use)*. Ulan-Ude: Buryat. Knizhuay Publ., 1959. 347 p. (in Russian)
28. Makeev O.V., Nogina N.A. Classification and diagnostics of soils of Central and Eastern Siberia, *Brief reports of the Buryat complex research Institute of the USSR Academy of Sciences*. Ser. Natures' sciences. Ulan-Ude: BCNII SO AN of USSR, 1962, Vol. 3. p. 65–72. (in Russian)
29. Martynova N.A., Shvetsov S.G., Belousov V.M., Komarov A.N. The influence of loess cover and Cambrian rocks on the properties and diversity of the soil cover of the Irkutsk region (near the village of Balagansk). In book: *Soil as a link in the functioning of natural and anthropogenic ecosystems: Proceed. of the IV Inter. Science-Pract. Conf., devoted to the 85-th anniversary of the Department of Soil Science and Assessment of Land Resources of ISU and to Day of Baikal* (edited By N. I. Granina). Irkutsk: ISU Publishing house, 2016. p. 171–178. (in Russian)
30. Nadezhdin B.V. *Of the Lena-Angara forest-steppe (soil-geographical essay)*. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961. 327 p. (in Russian)
31. Nikolaev I.V. *Soils of Irkutsk region*. Irkutsk: OGIZ 1948 [bound 1949]. 421 p. (in Russian)
32. *Field soil identification manual*. Moscow: Soil Institute of V.V. Dokuchaev, 2008. 182 p. (in Russian)
33. *Soil scientists and agrochemists of Siberia and Far East: Bibliogr. reference book / Ed. by Khmelev V.A.* Novosibirsk: Publishing house of Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 2004. 333 p. (in Russian)
34. Prein Y.P. Essay of soils of Balagansk' district. In book: *Materials on the study of land use and economic life of Irkutsk and Yenisei province*. Vol. 5, 1890. p. 64–83. (in Russian)
35. Ryzhov Yu.V. Erosive-accumulative processes at the basins of small rivers of the South of Eastern Siberia, *Geography and Natural Resources*, 2009, Vol. 3, p. 94–101. doi: [10.1016/j.gnr.2009.09.011](https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.09.011)
36. Semeny E.Yu. *Stratigraphy and correlation of the upper Neopleistocene deposits of the southern Siberian platform and Tunka rift*. The author's abstract of Diss. for the degree of candidate of Geol.-Mneral. Sciences. St. Petersburg, 2015. 23 p. (in Russian)
37. Semeny E.Yu., Shchetnikov A.A., Filinovich I.A., Veshcheva S.V. Formation conditions and correlation of upper Neo-Pleistocene reference section deposits in the South Of Eastern Siberia by lithochemical data, *Sci. journal «Proceed. of Irkutsk State Technical University»*, 2014, No. 9 (92), pp. 89-99. (in Russian)
38. *Theory and practice of chemical analysis of soils / Ed. Vorobieva L.A.* M.: GEOS Publ., 2006. 400 p. (in Russian)
39. Chendev Yu.G. *Natural and anthropogenic evolution of forest-steppe soils of the Central Russian upland in Holocene*. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 2005. 47 p. (in Russian)
40. Chendev Y.G. *Natural evolution of soils of Central forest-steppe zone in Holocene*. Belgorod: Publishing house of Belgorod University, 2004. 200 p. (in Russian)
41. Chernysheva O.A. Features of modern distribution of relict vascular plants of the Upper Angara region. *Abstract of dissertation for the Sci. Degree of Candidate of Biological Sciences*. Ulan-Ude, 2012. 24 p. (in Russian)
42. Chizhikova N. P., Chechetko E.S., Gamzikov G.P. Specific features of profile distribution and crystallochemistry of phyllosilicates in soils of the Cisbaikal forest-steppe, *Eurasian Soil Science*, 2018, No.1, p. 96–111. doi: [10.1134/S1064229318010052](https://doi.org/10.1134/S1064229318010052)
43. Shchetnikov A.I. Trends in dynamics of the substance of South Siberian geosystems at the conditions of global changes of natural environment and anthropogenic loads. In book: *Trends of landscape-geochemical processes at geosystems of southern Siberia*. Novosibirsk: Nauka Publ., 2004. P. 20–31. (in Russian)
44. *Ecological Atlas of the Baikal region / Ed. Batuev A.R., Korytny L.M., Khmel'nov A.E.* Irkutsk: Publishing House of Institute of Geography of SB RAS, 2017. 378 p. (in Russian)
45. Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I. Correlation of endogenous events and climate variations at the late Cenozoic of Central Asia, *Stratigraphy. Geological correlation*, 2006, Vol. 14, No. 2, p. 3–25. (in Russian)
46. Mats V.D., Lomonosova T.K., Vorobyeva G.A., Granina L.Z. Upper Cretaceous-Cenozoic clay minerals of the Baikal region (eastern Siberia), *Applied Clay Science*, 2004, Vol. 24, p. 327–336. doi: [10.1016/j.clay.2003.08.008](https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.08.008)
47. Firestone R. B., West A., Kennett J.P. et al. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling, *PNAS*, 2007, Vol. 104, No.41, p.16016-16021. doi: [10.1073/pnas.0706977104](https://doi.org/10.1073/pnas.0706977104)
48. *IUSS Working Group. WRB, World Reference Base for Soil Resources Inter. soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports. No 106.* FAO, Rome, 2014. 181

The authors read and approved the final manuscript



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

**МАГНИЙ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ СКЛОНОВОГО АГРОЛАНДШАФТА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

© 2019 Т. В. Нечаева , Н. В. Гопп , О. А. Савенков, Н. В. Смирнова

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

Цель исследования: провести сравнительную оценку магниевого состояния сильно- и среднегумусированных почв, расположенных на разных гипсометрических уровнях эрозионно опасного склонового агроландшафта, по содержанию в пахотном горизонте валового магния, подвижной (обменной) и водорастворимой форм элемента, а также лабораторно-аналитических методов определения магния в почвах и растениях.

Место и время проведения. Геоморфологически территория исследования относится к Предсалаирской дренированной равнине (Предсалаирье) на юго-востоке Западной Сибири (55°02'20" с.ш.; 83°50'00" в.д.), административно – к Тогучинскому району Новосибирской области. На участке пахотного угодья площадью 225 га и протяженностью 4 км условно выделили склоновые позиции на следующих высотных ступенях (абсолютные отметки высот): верхняя часть склона – ВС_I (280-310 м), средняя – ВС_{II} (260-280 м) и ВС_{III} (220-260 м), нижняя – ВС_{IV} (190-220 м). Отбор почвенных и растительных проб провели в июле 2013 г.

Материалы и методы. Преобладающие почвы: черноземы оподзоленные и выщелоченные, темно-серые и серые лесные по классификации почв СССР (1977), что соответствует агрочерноземам глинисто-иллювиальным элювирированным и темнойязыковатым, агротемно-серым и агросерым по классификации почв России (2004, 2008) или Luvisc Greyzemis Chernozems, Naplic Chernozems, Luvisc Greyzemis Phaeozems, Luvisc Retis Greyzemis Phaeozems по классификации почв WRB (2014). Отбор индивидуальных почвенных проб (n = 55) провели буром из слоя 0-30 см (пахотный горизонт) по нерегулярной сетке, запасы надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси (n = 38) – методом укосов с учетной площади 0,25 м². Координаты точек отбора почвенных и растительных проб определили с помощью системы геопозиционирования (GPS, Garmin eTrex Vista).

Почвы проанализированы на содержание органического углерода с пересчетом на гумус в сернохромовой смеси по Тюрину; валового магния (Mg_{вал}) – в сухих порошкообразных образцах методом атомно-эмиссионной спектроскопии; подвижного (обменного) магния – методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием следующих экстрагирующих растворов: Mg_{пф1} – 1 М KCl, Mg_{пф2} – 1 М CH₃COONH₄, Mg_{пф3} – 0,1 М C₄H₄O₅(NH₄)₂, Mg_{пф4} – 0,5 М CH₃COOH; водорастворимого магния – двумя методами (из одной и той же вытяжки): Mg_{вод1} – атомно-абсорбционной спектроскопии, Mg_{вод2} – капиллярного электрофореза. Содержание валового магния в растениях (Mg_{раст}) определили методом атомно-абсорбционной спектроскопии двумя способами пробоподготовки: Mg_{раст1} – мокрым озолением в смеси серной и хлорной кислот, Mg_{раст2} – сухим озолением и количественным переносом с 1 М HCl. Содержание магния в почвах и растениях представили на элемент и рассчитали на воздушно-сухую массу. Статистическую обработку данных провели методами описательной статистики, корреляционного анализа, расчетом t-критерия Стьюдента и U-критерия Манна-Уитни.

Основные результаты. Среднее валовое содержание магния в почвах склона варьировало от 0,79 до 0,88%. Доля подвижного магния от валового содержания элемента в почвах составила в среднем 3,3-6,0%, водорастворимого магния – 0,06-0,13%. В среднегумусированных почвах вниз по склону установлено постепенное снижение содержания валового магния в ряду агрочерноземы → агротемно-серые → агросерые, и подобная закономерность выявлена нами ранее по содержанию в почвах валовых фосфора и калия. Среднее содержание подвижного магния в сильногумусированных почвах в верхней части склона (ВС_I) варьировало от 3,2 до 4,0 смоль(экв)·кг⁻¹ в зависимости от экстрагента, в среднегумусированных почвах вниз по склону (ВС_{II-IV}) – от 2,2 до 3,2 смоль(экв)·кг⁻¹. Результаты по содержанию водорастворимого магния в почвах, полученные методами атомно-абсорбционной спектроскопии и капиллярного электрофореза, очень близки: в среднем 0,06-0,08 и 0,04-0,09 смоль(экв)·кг⁻¹. Однако более чувствительным к снижению содержания водорастворимого магния в среднегумусированных почвах в средней части склона оказался метод капиллярного электрофореза. Содержание магния в надземной фитомассе овсяно-гороховой смеси, отобранной в фазу куцения злакового компонента, методом сухого озоления составило в среднем 0,21-0,26% и соответствовало оптимальному уровню, мокрым озолением – было ниже в 1,3-1,6 раза.

Заключение. В условиях склонового агроландшафта Предсалаирья на юго-востоке Западной Сибири сильногумусированные почвы в верхней части склона (5-8% гумуса, BC_I) характеризуются более высоким содержанием подвижного магния, чем среднегумусированные почвы в средней и нижней частях склона (3-5% гумуса, BC_{II-IV}). Для оценки магниевого состояния почв из рассмотренных вытяжек для определения подвижного (обменного) магния целесообразнее использовать 1 М КСl или 1 М CH_3COONH_4 с возможностью одновременного определения в одной и той же почвенной вытяжке других показателей (обменные кальций и калий, рН солевой и т.д.) в зависимости от экстрагента.

Ключевые слова: гумус; магний: валовой, подвижный (обменный), водорастворимый; эрозия; склон; высотные ступени; запасы фитомассы; магний в растениях; Новосибирская область

Цитирование: Нечаева Т.В., Гопп Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Магний в почвах и растениях в условиях склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 4. е91. doi: 10.31251/pos.v2i4.91

ВВЕДЕНИЕ

Магний в настоящее время рассматривается как полифункциональный элемент питания растений, выполняющий не только структурообразующую роль, входя в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок, но и важную функциональную роль в составе более 300 ферментов (Аристархов, 2002; Тихомирова, 2011; Marschner, 2011). Магний способствует повышению урожайности и улучшению качества продукции (увеличению крахмалистости картофеля, сахаристости корней сахарной свеклы, белковости бобовых культур и т.д.), оказывает влияние на биологическую активность почвы (Таврыкина и др., 2013; Михайловская и др., 2015; Станилевич и др., 2018; и др.). Недостаток магния в окружающей среде и кормах негативно сказывается на жизнедеятельности биоты: у растений развивается хлороз (Мазаева, 1967; Tanol, Kobayashi, 2015), животные заболевают тетанией (Аристархов, 2000; Афанасьев, 2005), у людей повышается риск заболевания раком желудка и артериальной гипертензией (Яхиев и др., 2019; Bezuglova, 2017). Поэтому необходимо корректировать недостаток магния в организме человека магниевыми добавками, которые снижают риск сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний.

По обобщенным литературным данным (Панников, Минеев, 1977; Аристархов, 2000; Воеводина, Воеводин, 2015; Шеуджен и др., 2015; Jakovljević et al., 2003; и др.), содержание валового (общего) магния в почвах варьирует от 0,2 до 2,4% в зависимости от минералогического и гранулометрического состава почв, типа почвообразования. Например, в почвах, образовавшихся на суглинках и глинах, больше магния, чем в почвах, возникших на песках; мелкие частицы содержат больше магния, чем крупные. Суглинки и глины, где преобладающим минералом является каолинит, бедны магнием, а где преобладает монтмориллонит – богаче им. Однако для питания растений важен магний, находящийся в почвенном поглощающем комплексе (подвижный, доступный, обменный) и в почвенном растворе (водорастворимый, легкообменный). Наиболее богаты подвижным магнием черноземные, каштановые и сероземные почвы. Ионы магния сильно гидратируются и поэтому очень слабо поглощаются почвой. В условиях влажного климата ионы магния, особенно на легких почвах, в значительной мере вымываются, в результате чего происходит снижение содержания магния в верхних и накопление его в нижних горизонтах почвы. На кислых почвах и на почвах с малой емкостью поглощения после зим с обилием осадков часто наблюдается острый недостаток магния. Магний занимает одно из первых мест в ряду потерь: $Ca > Mg > Na > K > NH_4$. Выщелачивание магния обусловлено не только количеством осадков, оно тесно связано с гранулометрическим и минералогическим составом, реакцией среды и внесением физиологически кислых минеральных удобрений (Мазаева, 1977; Годунова и др., 2013; Якименко, 2018; Shiwakoti et al., 2019; и др.).

В России около 40 млн га пахотных почв имеют низкое и очень низкое содержание подвижного магния (экстрагируемого 1 М КСl), половина из которых расположены в Нечерноземной зоне страны (Аристархов, 2002; Тихомирова, 2011). В Северо-Западном, Волго-Вятском и Уральском экономических районах России со значительным количеством дерново-подзолистых почв облегченного гранулометрического состава доля пашни с низким содержанием подвижного магния ($<1,0$ смоль(экв) \cdot кг $^{-1}$) достигает 55-76%. Недостаток магния также наблюдается в суглинистых почвах зоны выщелоченных черноземов и красноземов Западной Грузии, в дерново-подзолистых и торфяных почвах Белоруссии, в каштановых почвах Казахстана и других республиках бывшего СССР (Аристархов, 2000; Богдевич и др., 2014; Труфанова и др., 2014; и др.).

Помимо необходимости решения вопросов, связанных с недостатком элементов минерального питания растений в почвах агроценозов, одной из важнейших мировых эколого-экономических проблем, ведущих к потере почвенных ресурсов, является эрозия. Общие мировые потери продуктивных земель от эрозии оцениваются примерно в 6,7 млн га, а потери плодородного слоя – в 24 млн т ежегодно (Lai, 1991; Gabbasova et al., 2016). В этой связи эрозионно опасные и эродированные (смытые) почвы склоновых агроландшафтов, формирующиеся в результате разрушения верхнего наиболее плодородного гумусового слоя под действием стока талых и ливневых вод, во всем мире являются объектами пристального внимания ученых. Несмотря на то, что деградационные процессы присущи как плакорным, так и склоновым агроландшафтам, масштаб изменения параметров плодородия почв в последних гораздо выше. Плакорные агроландшафты более устойчивы и при соблюдении технологий могут использоваться длительное время без существенного изменения почвенно-агрохимических свойств, тогда как при эксплуатации склоновых агроландшафтов необходимо предусматривать заблаговременное применение специальных почвосберегающих технологий (Явтушенко, Макаров, 1996; Каштанов, Явтушенко, 1997; Хмелев, Танасиенко, 2009; Савоськина, 2011; Погуленко, 2013; и др.).

Площади эрозионно опасных и эродированных сельскохозяйственных угодий в России составляют 117 млн га, из них 84 млн га – пашни (Безуглов и др., 2008). В Западной Сибири эрозионными процессами охвачено около 3,5 млн га, что составляет 18 % пашни (Танасиенко, 2003). Выветривание (как процесс изменения и разрушения минералов), распаивание и вынос глинистого материала могут снижать содержание магния в верхних горизонтах почвы (Аристархов, 2000; Годунова и др., 2013; Труфанова и др., 2014; Mikkelsen, 2010). Потери магния в результате эрозии отмечаются в работах многих авторов. Например, при изучении поверхностного стока на серых оподзоленных тяжелосуглинистых почвах склона крутизной 4-5° в Курской области (Шикула, Ломакин, 1978) установлено, что с жидким стоком теряется наибольшее количество магния (до 2,0-5,5 кг Mg^{2+} ·га⁻¹) и кальция (до 3,4 кг Ca^{2+} ·га⁻¹), с твердым стоком – фосфора, кальция и гумуса. Мульчирование почвы соломой резко увеличивало смыв магния (до 4,9-5,7 кг·га⁻¹), что связано с интенсивным вымыванием элемента из мульчи. При этом смыв растворимых веществ происходил в начале стока, а не с момента освобождения почвы от снега, что объясняется наличием частичек почвы в снеге, а также выщелачиванием химических элементов при соприкосновении талой воды с почвой и мульчей. На серых лесных и дерново-подзолистых почвах Подмосковья (Башкин и др., 1991) показана четкая зависимость содержания подвижных форм фосфора, кальция, магния, цинка от геоморфологических параметров рельефа и связанного с этим вида элементарного ландшафта. Так, зоны аккумуляции подвижных форм кальция и магния обнаружены в трансэлювиально-аккумулятивных и супераккумулятивных ландшафтах. В то же время в исследованиях на агросерой почве в лесостепи Западной Сибири (Gopp et al., 2017a) статистически значимых различий по содержанию обменного магния, экстрагируемого 1 М CH_3COONH_4 , между элювиальной и транзитной частями склона не обнаружено; пространственная изменчивость магния в пахотном горизонте (0-25 см) была связана с содержанием в почве физической глины, гумуса, показателями влажности и pH водной суспензии. Минералогический и химический состав смытых почв центра и юга Русской равнины (Чернышев, Иванова, 1993) свидетельствовал о значительном содержании в них коллоидов, богатых питательными элементами (калием, находившемся в гидрослюдах, и магнием – в монтмориллоните), а также гумуса, азота и фосфора. Например, среднее валовое содержание гумуса в смытой со склонов почве и ее фракции <0,001 мм составило 6,38 и 9,56% соответственно, калия – 2,21 и 2,30%, магния – 1,47 и 2,06%. На серых лесных почвах склонового агроландшафта в Курской области (Дубовик Е., Дубовик Д., 2013) содержание обменного магния, экстрагируемого 1 М KCl, в пахотном горизонте на водораздельном плато составило 1,6 смоль(экв) Mg^{2+} ·кг⁻¹, в то время как на склонах полярных экспозиций данный показатель варьировал от 2,1 до 2,5 смоль(экв)·кг⁻¹. На черноземах оподзоленных в лесостепи Западной Сибири (Танасиенко и др., 2013) содержание магния, экстрагируемого 1 М CH_3COONH_4 , в гумусовом слое среднесмытой почвы составило 1,5 смоль(экв) Mg^{2+} ·кг⁻¹, в намытом же слое 10 и 25-летней залежи этот показатель был выше – 3,3-3,8 и 1,9-4,3 смоль(экв)·кг⁻¹ соответственно.

Итак, основными статьями расхода магния в почвах являются выщелачивание его из пахотного горизонта фильтрующимися атмосферными осадками, вынос урожаем сельскохозяйственных культур, а также потери магния с поверхностным стоком при развитии эрозионных процессов на склонах. Существенным источником поступления магния в почвы

агроценозов считается внесение не только минеральных, но и органических удобрений, в которых содержание магния может достигать следующих величин (в % Mg на сырое вещество): навоз свиной и крупного рогатого скота – 0,05-0,06, птичий помет – 0,24, торф – 0,08 (Аристархов, 2000). Однако с переходом сельского хозяйства России на нерегулируемые государством рыночные отношения поставка и применение минеральных удобрений сократились в 6-10 раз, использование навоза и компостов на его основе – в 7 раз (Нечаева, Быкова, 2014; Алтухов и др., 2019). Следовательно, высокая подвижность магния в почве, подверженность элемента значительной миграции, заметный вынос с урожаем, крайне слабое использование доломитовой муки и других магнийсодержащих удобрений, навоза, обуславливают необходимость постоянного контроля за магниевым состоянием почв агроценозов.

Цель исследования – провести сравнительную оценку магниевого состояния сильно- и среднегумусированных почв, расположенных на разных гипсометрических уровнях эрозионно опасного склонового агроландшафта, по содержанию в пахотном горизонте валового магния, подвижной (обменной) и водорастворимой форм элемента, а также лабораторно-аналитических методов определения магния в почвах и растениях.

В настоящее время отечественные исследования по изучению магниевого состояния почв агроценозов немногочисленны (Аристархов, 2002; Афанасьев, 2005; Тихомирова и др., 2011; Шеуджен и др., 2015; Якименко, 2019; и др.), в условиях эрозионно опасных склонов – лишь фрагментарно при рассмотрении других агрохимических показателей (Шикула, Ломакин, 1978; Башкин и др., 1991; Чернышев, Иванова, 1993; Танасиенко и др., 2013; Годунова и др., 2013; Дубовик Е., Дубовик Д., 2013; Нечаева и др., 2017; Gopp et al., 2017б; и др.). Данная работа является продолжением многолетних почвенно-агрохимических исследований склоновых агроландшафтов на юге Западной Сибири как по изучению изменения параметров плодородия почв, структуры и качества урожая сельскохозяйственных культур (Якутина и др., 2011; 2018; Нечаева и др., 2019а; 2019б; Yakutina et al., 2015; и др.), так и по оценке пространственной изменчивости свойств почв методами геоморфометрии и цифрового картографирования (Гопп и др., 2016; 2018; 2019; и др.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили на территории Предсалаирской дренированной равнины (Предсалаирье) в лесостепной зоне на юго-востоке Западной Сибири, административно относящейся к Тогучинскому району Новосибирской области (НСО). 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. Почвы Предсалаирья в правобережной части НСО в наибольшей степени подвержены водной эрозии (Танасиенко, 2003; Хмелев, Танасиенко, 2009).

На исследованном участке пахотного угодья площадью 225 га и протяженностью 4 км условно выделили склоновые позиции на следующих высотных ступенях (ВС, абсолютные отметки высот): верхняя часть склона – ВС_I (280-310 м); средняя – ВС_{II} (260-280 м) и ВС_{III} (220-260 м); нижняя – ВС_{IV} (190-220 м) (рис. 1). На данной территории преобладают оподзоленные и выщелоченные черноземы, темно-серые и серые лесные почвы по классификации почв СССР (1977), которые соответствуют агрочерноземам, агротемно-серым и агросерым почвам по классификации почв России (2004, 2008) (табл. 1). Почвообразующие породы – лессовидные карбонатные суглинки. Отбор индивидуальных почвенных проб (n = 55) провели буром из пахотного горизонта (0-30 см) по нерегулярной сетке. В этих же точках определили запасы надземной фитомассы (ЗНФ) овсяно-гороховой смеси (овес посевной (*Avena sativa*) сорта Ровесник и горох посевной (*Pisum sativum*) сорта Ямальский) методом укусов с учетной площади 0,25 м², отобранной в фазу кущения злакового компонента. Необходимо отметить, что небольшая часть исследованного участка пахотного угодья была занята ячменем, поэтому объем выборки по ЗНФ овсяно-гороховой смеси был меньше и составил n = 38 (табл. 2). Координаты точек отбора почвенных и растительных образцов определили с помощью системы геопозиционирования (GPS, Garmin eTrex Vista), погрешность привязки – 5 м. Почвенную съемку провели в масштабе 1:5000 (Общесоюзная инструкция..., 1973). Следует подчеркнуть, что какие-либо удобрения в почвы агроценоза не вносили, и в целом для данной территории Предсалаирья характерен экстенсивный тип землепользования (без внесения удобрений) в течение последних двух десятилетий с выращиванием в основном яровой пшеницы как монокультуры.

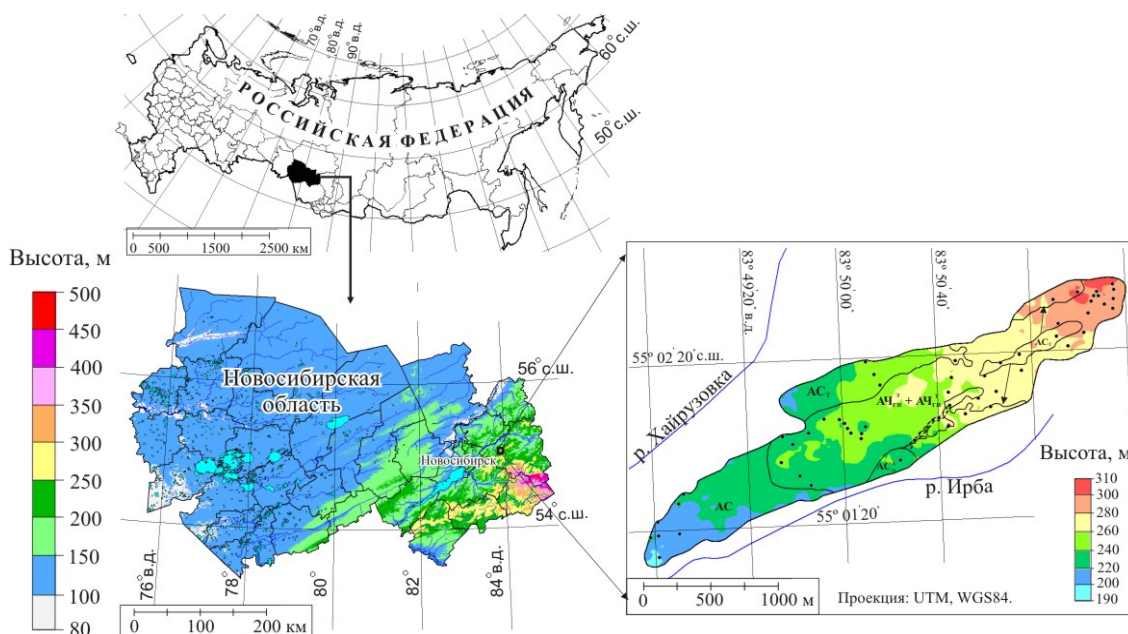


Рисунок 1. Карта территории исследования и схема отбора почвенных проб: сплошной линией показаны контуры почв, расположенные на разных гипсометрических уровнях; пунктирной – ложбина стока; точками – схема отбора почвенных проб. Аббревиатура с обозначением почв – см. табл. 1.

Таблица 1

Преобладающие почвы на территории исследования

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} ^Э)	PU – AUel – BI – BICca – Cca	Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювиированный насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый (АЧ _{Ги} ^Э)	PU – AUel – BI – BICca – Cca	Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный тёмноязыковатый насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый (АЧ _{Ги} ^Т)	PU – AU – BI _{yu} – BICca – Cca	Haplic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агротемно-серая насыщенная среднегумусированная тяжелосуглинистая (АС _Т)	PU – AUel – BEL – BT – C	Luvic Greyzemic Phaeozems (Siltic, Aric)
Агросерая ненасыщенная среднегумусированная тяжелосуглинистая (АС)	P – AEL – BEL – BT – C	Luvic Retic Greyzemic Phaeozems (Siltic, Aric)

Содержание органического углерода в почвах с пересчетом на гумус определили методом бихроматного окисления по Тюрину; pH водной суспензии (pH_{вод}) – потенциметрическим методом при соотношении почва : раствор (H₂O_{дист}) равным 1:2,5; гранулометрический состав – пирофосфатным методом по Качинскому (Агрохимические методы..., 1975; Практикум..., 2001). Определение содержания валового магния (Mg_{вал}) в почвах выполнили в сухих порошкообразных образцах методом атомно-эмиссионной спектроскопии, подвижной (обменной) формы магния – методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием нескольких экстрагирующих растворов: Mg_{ПФ1} – 1 М KCl при соотношении почва : раствор равным 1:2,5 (ГОСТ 26487-85); Mg_{ПФ2} – 1 М CH₃COONH₄ (pH = 7,0) при соотношении 1:10 (по Масловой); Mg_{ПФ3} – 0,1 М C₄H₄O₅(NH₄)₂ при соотношении 1:20 (по Николову); Mg_{ПФ4} – 0,5 М CH₃COOH при соотношении 1:25 (по Чирикову). По методу Масловой в почвенных вытяжках с 1 М CH₃COONH₄ также определили содержание обменных кальция и калия. Содержание водорастворимого магния определили при соотношении почва : раствор (H₂O_{дист}) равным 1:5 двумя методами (из одной и той же вытяжки): Mg_{вод1} – атомно-абсорбционной спектроскопии; Mg_{вод2} – капиллярного электрофореза. Определение содержания валового магния в растениях (Mg_{раст}) выполнили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с применением двух способов пробоподготовки:

$Mg_{\text{раст1}}$ – мокрым озолением образцов в смеси серной и хлорной кислот (Практикум..., 2001); $Mg_{\text{раст2}}$ – сухим озолением образцов в течение 4 ч при 500°C и количественным переносом с 1 M HCl (Handbook..., 1998). Содержание магния в почвах и растениях представили на элемент и рассчитали на воздушно-сухую массу. Согласно Международной системе единиц (SI, СИ), содержание магния в почвах выразили в «смоль(экв)·кг⁻¹», что равнозначно «ммоль(экв)·100 г⁻¹» или «мг-экв·100 г⁻¹», однако использование последнего в настоящее время не допустимо (Воробьева и др., 2012).

Статистическую обработку данных провели в пакетах Microsoft Office Excel 2007 и Statistica v.6.1. В таблицах привели такие статистические параметры, как среднее арифметическое и стандартное отклонение ($M \pm s$), диапазон значений (min – max), объем выборки (n), а также коэффициенты корреляции Спирмена и Пирсона. Оценку значимости различий между изученными параметрами почв и растительности провели с использованием t-критерия Стьюдента и U-критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении параметров плодородия почв Предсалаирья (см. табл. 2) с учетом их группировки по содержанию гумуса (Классификация..., 2004) установлено, что агрочерноземы в верхней части склона на высотах 280-310 м (BC_I) относятся к сильногумусированным (5-8%), тогда как агрочерноземы, агротемно-серые и агросерые почвы в средней и нижней частях склона на высотах 190-280 м (BC_{II-IV}) – к среднегумусированным (3-5%). Вниз по склону выявлено снижение содержания в почвах гумуса в 1,5-2,0 раза, что в свою очередь может способствовать ухудшению структуры, снижению поглотительной и водоудерживающей способности почв (Явтушенко, Макаров, 1996; Каштанов, Явтушенко, 1997; Жилко и др., 1999; Танасиенко, 2003; Хмелев, Танасиенко, 2009; и др.). Почвы характеризовались слабокислой (5,1-5,5) и близкой к нейтральной (5,6-6,0) реакцией среды, что создает благоприятные условия для роста и развития большинства сельскохозяйственных культур и жизнедеятельности почвенной микрофлоры.

Наибольшее содержание обменных кальция и калия отмечено в сильногумусированных почвах в верхней части склона (BC_I). В среднегумусированных почвах вниз по склону содержание данных элементов было ниже, особенно в средней части на BC_{II-III} (в 1,2-1,3 раза). Содержание физической глины в почвах склона варьировало в широком диапазоне – от 40 до 60%, в целом же почвы характеризовались тяжелосуглинистым гранулометрическим составом с облегчением в средней части склона (BC_{II-III}) за счет существенного снижения количества мелкой пыли (см. табл. 2). Распределение фракций физической глины было неравномерным, что связано, по-видимому, с избирательным выносом почвенного материала при стоке талых и ливневых вод. Так, в среднегумусированных почвах вниз по склону установлено уменьшение содержания средне- и мелкопылеватых частиц и увеличение доли илистой фракции. Перераспределение и селективный вынос почвенных частиц, обладающих высокой поглотительной способностью и обогащенных элементами питания, отмечены в работах многих исследователей на эрозионно опасных склонах (Чернышев, Иванова, 1993; Жилко и др., 1999; Дубовик Е., Дубовик Д., 2013; Танасиенко и др., 2013; Губина, 2016; Савельева, 2016; Gabbasova et al., 2016; и др.).

Основным источником магния для растений является почва. В сильногумусированных агрочерноземах в верхней части склона (BC_I) среднее валовое содержание магния составило 0,81%, что сопоставимо с литературными данными. Например, среднее валовое содержание магния в различных типах почв России следующее (в % на сухое вещество): в подзолистых – 0,5, лесостепных – 0,7, в черноземах – 0,9, в сероземах – 1,45 (Панников, Минеев, 1977; Аристархов, 2000). Кубанские черноземы содержат 0,8-1,1% валового магния (Шеуджен и др., 2015), черноземы Сербии – в среднем 0,67% (Jakovljević et al., 2003). В среднегумусированных почвах Предсалаирья вниз по склону (BC_{II-IV}) отмечено постепенное снижение содержания валового магния в ряду агрочерноземы (0,88%) → агротемно-серые (0,83%) → агросерые (0,79%), и подобная закономерность установлена нами ранее по содержанию в почвах валовых фосфора и калия (Нечаева и др., 2019а; 2019б). Однако валовое содержание магния является лишь одним из показателей, характеризующих потенциальное плодородие почв, тогда как основным источником питания для растений считается магний, находящийся в почвенном поглощающем комплексе (подвижный, обменный) и в почвенном растворе (водорастворимый, легкообменный) (Мазаева, 1967; Годунова и др., 2013; Якименко, 2018; и др.).

Таблица 2

Свойства почв и параметры растительности в условиях склонового агроландшафта

Показатели	Высотные ступени (ВС) и почвы			
	BC _I (280-310 м)	BC _{II} (260-280 м)	BC _{III} (220-260 м)	BC _{IV} (190-220 м)
	AЧ _{ГИ} ^Э (n = 16)	AЧ _{ГИ} ^Э +AЧ _{ГИ} ^Т (n = 14)	АС _Т (n = 13)	АС (n = 12)
Параметры почвенного плодородия				
Гумус, %	<u>7,37 ± 1,49</u> 3,67 – 9,14	<u>5,02 ± 1,18*</u> 3,50 – 6,81	<u>3,66 ± 0,69*</u> 2,48 – 5,00	<u>3,60 ± 0,94*</u> 1,98 – 5,28
pH _{вод}	<u>5,84 ± 0,18</u> 5,55 – 6,16	<u>5,72 ± 0,14**</u> 5,46 – 5,95	<u>5,73 ± 0,16</u> 5,40 – 5,96	<u>5,83 ± 0,17</u> 5,47 – 6,09
Ca ²⁺ , смоль(экв)·кг ⁻¹ (1 М CH ₃ COONH ₄)	<u>20,5 ± 2,8</u> 13,7 – 23,9	<u>16,8 ± 2,7*</u> 12,3 – 21,7	<u>15,5 ± 2,4*</u> 12,7 – 20,9	<u>17,7 ± 3,1*</u> 13,2 – 21,1
K ⁺ , смоль(экв)·кг ⁻¹ (1 М CH ₃ COONH ₄)	<u>0,51 ± 0,07</u> 0,40 – 0,60	<u>0,40 ± 0,05*</u> 0,32 – 0,52	<u>0,41 ± 0,09*</u> 0,33 – 0,70	<u>0,48 ± 0,12</u> 0,35 – 0,72
Фракции физической глины, %				
Пыль средняя	<u>12,4 ± 1,3</u> 9,2 – 14,8	<u>13,5 ± 1,9</u> 10,2 – 16,4	<u>10,9 ± 1,1*</u> 8,8 – 12,6	<u>11,3 ± 1,3**</u> 9,1 – 14,2
Пыль мелкая	<u>20,8 ± 1,7</u> 17,6 – 22,8	<u>16,5 ± 1,5*</u> 13,8 – 19,2	<u>15,8 ± 1,5*</u> 12,6 – 17,9	<u>15,5 ± 1,6*</u> 13,0 – 19,2
Ил	<u>16,7 ± 3,8</u> 11,9 – 25,5	<u>15,4 ± 3,0</u> 11,6 – 20,6	<u>17,6 ± 3,0</u> 10,4 – 20,5	<u>22,7 ± 4,4*</u> 18,1 – 33,5
Физическая глина	<u>49,9 ± 3,0</u> 44,2 – 57,0	<u>45,4 ± 3,0*</u> 41,0 – 51,7	<u>44,3 ± 1,9*</u> 40,1 – 46,5	<u>49,5 ± 3,9</u> 46,2 – 59,9
Магниевое состояние почв, включая содержание валового магния (Mg _{вал}), подвижной (Mg _{пф1-4}) и водорастворимой (Mg _{вод1-2}) форм элемента, смоль(экв) Mg ²⁺ ·кг ⁻¹ воздушно-сухой массы				
Mg _{вал}	<u>67 ± 12</u> 49 – 99	<u>73 ± 15</u> 39 – 95	<u>68 ± 10</u> 55 – 90	<u>65 ± 9</u> 51 – 79
Mg _{пф1} (1 М KCl)	<u>3,2 ± 0,6</u> 3,2 – 4,5	<u>2,5 ± 0,3*</u> 2,0 – 2,9	<u>2,2 ± 0,3*</u> 1,4 – 2,5	<u>2,4 ± 0,2*</u> 2,0 – 2,7
Mg _{пф2} (1 М CH ₃ COONH ₄)	<u>4,0 ± 0,4</u> 3,0 – 4,8	<u>2,8 ± 0,4*</u> 2,1 – 3,5	<u>2,6 ± 0,4*</u> 1,7 – 3,3	<u>2,9 ± 0,3*</u> 2,6 – 3,5
Mg _{пф3} (0,1 М C ₄ H ₄ O ₅ (NH ₄) ₂)	<u>3,6 ± 0,5</u> 2,6 – 4,4	<u>3,1 ± 0,4**</u> 2,6 – 4,1	<u>2,8 ± 0,6*</u> 1,6 – 3,8	<u>3,1 ± 0,4**</u> 2,6 – 4,1
Mg _{пф4} (0,5 М CH ₃ COOH)	<u>3,8 ± 0,5</u> 2,8 – 4,4	<u>3,2 ± 0,4*</u> 2,8 – 3,7	<u>3,0 ± 0,7*</u> 1,7 – 3,7	<u>3,1 ± 0,4*</u> 2,4 – 3,7
Mg _{вод1} (атомно-абсорб. спектрометрия)	<u>0,08 ± 0,01</u> 0,05 – 0,10	<u>0,08 ± 0,02</u> 0,06 – 0,12	<u>0,06 ± 0,01*</u> 0,05 – 0,07	<u>0,07 ± 0,02</u> 0,05 – 0,10
Mg _{вод2} (капиллярный электрофорез)	<u>0,09 ± 0,02</u> 0,05 – 0,15	<u>0,07 ± 0,01**</u> 0,05 – 0,10	<u>0,04 ± 0,01*</u> 0,02 – 0,06	<u>0,08 ± 0,05</u> 0,03 – 0,19
Ca/Mg (молярное) (1 М CH ₃ COONH ₄)	<u>5,1 ± 0,7</u> 3,4 – 6,5	<u>6,0 ± 0,8*</u> 4,8 – 7,9	<u>6,0 ± 1,2**</u> 4,7 – 8,5	<u>6,2 ± 1,0*</u> 4,8 – 7,7
K/Mg (молярное) (1 М CH ₃ COONH ₄)	<u>0,13 ± 0,02</u> 0,10 – 0,16	<u>0,15 ± 0,02**</u> 0,11 – 0,20	<u>0,16 ± 0,05**</u> 0,12 – 0,27	<u>0,17 ± 0,04*</u> 0,12 – 0,24
Запасы надземной фитомассы (ЗНФ) и содержание магния в растениях, % Mg на воздушно-сухую массу				
ЗНФ, г·м ⁻² (овсяно-гороховая смесь) (n = 16)	<u>134 ± 29</u> 78 – 190	<u>144 ± 32</u> 102 – 210	<u>172 ± 37</u> 143 – 214	<u>143 ± 29</u> 92 – 165
Mg _{раст1} , % (мокрое озоление)	<u>0,19 ± 0,04</u> 0,14 – 0,27	<u>0,18 ± 0,03</u> 0,14 – 0,24	<u>0,17 ± 0,05</u> 0,14 – 0,22	<u>0,14 ± 0,02**</u> 0,12 – 0,17
Mg _{раст2} , % (сухое озоление)	<u>0,25 ± 0,05</u> 0,19 – 0,34	<u>0,23 ± 0,03</u> 0,17 – 0,28	<u>0,26 ± 0,06</u> 0,23 – 0,34	<u>0,21 ± 0,02**</u> 0,19 – 0,23

Примечание.

Над чертой указаны среднеарифметическое и стандартное отклонение ($M \pm s$), под чертой – диапазон значений ($\min - \max$), n – объем выборки. * – показатели, статистически значимо отличающиеся от таковых на BC_I при $p < 0,01$; ** – отличия значимы при $p < 0,05$. Обозначения почв – см. табл. 1.

Обращает на себя внимание тот факт, что в почвенно-агрохимических исследованиях нет общепринятой терминологии относительно форм соединений химических элементов, как синонимы используют «подвижный», «обменный», «доступный», «усвояемый» и другие. Для вытеснения обменных катионов из почвенного поглощающего комплекса чаще всего используют растворы хлористого аммония, натрия или калия, а также раствор уксуснокислого аммония. Наиболее мягким вытеснителем считается уксуснокислый аммоний, так как при его взаимодействии с не насыщенными основаниями почвами образуется уксусная кислота, относящаяся к слабым кислотам и не оказывающая сильного разрушающего воздействия на почву. В случае использования в качестве вытеснителей хлоридов калия, натрия или аммония образуется соляная кислота, относящаяся к разряду сильных кислот и способная переводить в раствор необменные формы катионов и значительные количества полуторных окислов (Практикум..., 2001). В России стандартным является метод ЦИНАО для определения содержания обменного (подвижного) магния в почвах (ГОСТ 26487-85) с использованием в качестве экстрагирующего раствора 1 н. KCl (что равнозначно 1 М KCl). При решении вопроса о применении магниевых и магниесодержащих удобрений М.М. Мазаева (1967, 1977) также считала необходимым использовать вытяжку с 1 н. KCl при соотношении почва : раствор равным 1:2,5 для определения легкоподвижного магния. В почвах Предсалаирья, помимо определения магния в вытяжке с 1 М KCl, были использованы и другие экстрагенты (1 М CH₃COONH₄, 0,1 М C₄H₄O₅(NH₄)₂, 0,5 М CH₃COOH) с возможностью одновременного определения (в одной и той же вытяжке) других элементов минерального питания (например, подвижные формы фосфора, калия и кальция). Исходя из химического состава экстрагентов, можно предположить, что на соединения почвенного магния должны действовать такие механизмы как катионный обмен (в первую очередь) и растворение магниесодержащих минералов, а также возможен гидролиз органических соединений в условиях кислой реакции среды (Орлов, 1992). Поэтому содержание магния в почвах с использованием четырех вышеперечисленных экстрагирующих растворов обозначали как подвижный (обменный) магний.

Доля подвижного магния от валового содержания элемента в почвах Предсалаирья составила 3,3-6,0%. Среднее содержание подвижного магния в сильногумусированных почвах в верхней части склона (BC_I) варьировало от 3,2 до 4,0 смоль(экв)·кг⁻¹ в зависимости от экстрагента, в среднегумусированных почвах вниз по склону (BC_{II-IV}) этот показатель был существенно ниже (см. табл. 2). При этом наиболее чувствительными среди четырех экстрагентов к снижению содержания подвижного магния в среднегумусированных почвах оказались 1 М растворы CH₃COONH₄ и KCl. Между используемыми вытяжками по определению подвижного магния установлены тесные положительные корреляции заметной и высокой силы связи (табл. 3), однако наиболее тесная связь выявлена между 1 М KCl и 1 М CH₃COONH₄ ($r = 0,87$ при $p < 0,01$ и $n = 55$).

Большее количество подвижного магния в сильногумусированных почвах в верхней части склона вероятно обусловлено более высоким содержанием гумусовых кислот, усиливающих химическое выветривание магниесодержащих минералов. В тоже время снижение содержания подвижного магния в среднегумусированных почвах в средней и нижней частях склона может быть связано с миграцией элемента с поверхностным стоком в составе почвенных растворов, фракций физической глины и почвенного органического вещества (Шикула, Ломакин, 1978; Каштанов, Явтушенко, 1997; Нечаева и др., 2017; Gopp et al., 2017b). Так, в исследованиях на агросерой почве склона в лесостепи Западной Сибири (Gopp et al., 2017a) морфометрические величины рельефа, описывающие геометрические формы и поверхностный сток, объяснили 40% вариации содержания магния. Положительные корреляции от умеренной до высокой силы связи подвижного магния в почвах склона с гумусом, физической глиной, фракцией мелкой пыли подтверждают выше сказанное (см. табл. 3).

Если сравнить полученные нами результаты по содержанию в почвах подвижного (обменного) магния, экстрагируемого 1 М CH₃COONH₄ (Mg_{пф2}), с литературными данными по почвам агроценозов в лесостепи Западной Сибири, то, несмотря на длительное экстенсивное землепользование (без внесения удобрений), почвы в условиях склонового агроландшафта относительно богаты элементом. Например, в длительном полевом опыте на серой лесной среднесуглинистой почве в Искитимском районе НСО (Якименко, 2019), содержание обменного магния в целинном участке варьировало от 1,18 (0-20 см) до 2,36 смоль(экв) Mg²⁺·кг⁻¹ (80-100 см); в варианте без удобрений в течение 29 лет опыта этот показатель снизился до 1,01 смоль(экв)·кг⁻¹ в слое 0-20 см. В пахотном горизонте (0-25 см) агросерой среднесуглинистой почвы в

Новосибирском районе НСО (Gopp et al., 2017a) содержание обменного магния в элювиальной части склона составило в среднем 1,5, в транзитной – 1,2 смоль(экв)·кг⁻¹. Для сравнения в слое 0-30 см агросерой тяжелосуглинистой почвы в нижней части склона содержание Mg_{пф2} варьировало от 2,6 до 3,5 смоль(экв)·кг⁻¹ (см. табл. 2).

В ряде российских и зарубежных научных работ, выполненных в разных почвенно-климатических условиях, предложены различные уровни и градации обеспеченности почв доступным для растений магнием с учетом используемых экстрагентов, гранулометрического состава почв, вида выращиваемых культур (Мазаева, 1967; Норкина и др., 1988; Аристархов, 2000; Тихомирова и др., 2011; Таврыкина и др., 2013; Zebire et al., 2019; и др.). В настоящее время для агрохимической службы России в ЦИНАО разработаны и предложены к использованию следующие показатели: (1) группировка по содержанию в почвах обменного магния с учетом их гранулометрического состава и методов химического определения элемента; (2) оптимальные уровни содержания обменного магния в почвах для основных сельскохозяйственных культур. Например, для тяжелосуглинистых и глинистых почв предложены следующие градации (Аристархов, 2002) по содержанию обменного магния, экстрагируемого 1 М KCl (мг-экв Mg²⁺·100 г⁻¹, что равнозначно смоль(экв)·кг⁻¹): очень низкое – <0,50; низкое – 0,51-1,00; среднее – 1,01-2,00; повышенное – 2,10-3,00; высокое – 3,10-4,00; очень высокое – >4,00. Оптимальное содержание обменного магния для зерновых культур на тяжелосуглинистых и глинистых почвах составляет 0,45-0,60, для зернобобовых культур – 0,60-0,70 мг-экв Mg²⁺·100 г⁻¹. В соответствии с данной градацией тяжелосуглинистые почвы Предсалаирья в верхней части склона с варьированием содержания подвижного магния, экстрагируемого 1 М KCl (Mg_{пф1}), от 3,2 до 4,5 смоль(экв)·кг⁻¹ относятся к высоко и очень высоко обеспеченным магнием; почвы в средней и нижней частях склона с содержанием Mg_{пф1} от 1,4 до 2,9 смоль(экв)·кг⁻¹ – к среднему и повышенному уровню обеспеченности. Наши результаты подтверждают литературные данные (Аристархов, 2002) о том, что по содержанию подвижного магния большинство пахотных почв Западно-Сибирского экономического района России (около 80%) характеризуются как повышено обеспеченные данным макроэлементом (>2,0 смоль(экв)·кг⁻¹).

Поступление магния в растение зависит от концентрации сопутствующих катионов в почвенном растворе. Известно, что между кальцием и магнием, калием и магнием имеет место антагонизм. Например, при внесении в повышенных дозах калийных удобрений задерживается поступление магния (Норкина и др., 1988; Воеводина, Воеводин, 2015). При этом калий снижает не только общее количество магния в растении, но, что особо важно, содержание магния хлорофилла. Поэтому представляется важным при оценке магниевое состояние почв агроценозов рассматривать не только количественные, но и качественные показатели, такие как соотношение Ca/Mg и K/Mg. Наиболее оптимальные условия магниевое питания растений в пахотных почвах складываются при соотношении Ca/Mg в диапазоне от 1:1 до 5:1, K/Mg – 0,5:1 и 1:1 (Таврыкина и др., 2013; Михайловская и др., 2015; Богдевич и др., 2014; Jakovljević et al., 2003; и др.). На кислых почвах соотношение K/Mg может составлять 2:1, вследствие чего снижается доступность магния растениям. Соотношение Ca/Mg в сильногумусированных почвах в верхней части склона составило в среднем 5:1, в среднегумусированных почвах в средней и нижней частях склона – 6:1 за счет снижения содержания подвижного магния, экстрагируемого 1 М CH₃COONH₄ (см. табл. 2). Если соотношение Ca/Mg в почвах склона в целом было близко к оптимальным значениям, то соотношение K/Mg – очень широким (от 1:6 до 1:8) из-за низкого содержания обменного калия, что подтверждается результатами по изучению калийного состояния почв склонового агроландшафта (Нечаева и др., 2019а).

Доля водорастворимого магния от валового содержания элемента в почвах склона была незначительной и варьировала в среднем от 0,06 до 0,13%. Наибольшее содержание как подвижного, так и водорастворимого магния установлено в сильногумусированных агрочерноземах в верхней части склона. Результаты по содержанию водорастворимого магния в почвах, полученные методами атомно-абсорбционной спектроскопии и капиллярного электрофореза (из одной и той же вытяжки) очень близки (см. табл. 2). Однако более чувствительным к снижению содержания водорастворимого магния в среднегумусированных агрочерноземах и агротемно-серых почвах (в 1,3 и 2,2 раза) в средней части склона (BC_{II-III}) по сравнению с сильногумусированными почвами в верхней части склона (BC_I) оказался метод капиллярного электрофореза.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции Спирмена и Пирсона (выделены серым цветом) между параметрами почв и растительности

Параметры	Mg _{общ}	Mg _{ПФ1}	Mg _{ПФ2}	Mg _{ПФ3}	Mg _{ПФ4}	Mg _{вод1}	Mg _{вод2}	Mg _{раст1}	Mg _{раст2}	Гумус	pH _{вод}	Физ. глина	Пыль средняя	Пыль мелкая	Ил	ЗНФ
Mg _{общ}	–															
Mg _{ПФ1} (1 М КСl)	x	–														
Mg _{ПФ2} (1 М CH ₃ COONH ₄)	x	0,87	–													
Mg _{ПФ3} (0,1 М C ₄ H ₄ O ₅ (NH ₄) ₂)	x	0,69	0,66	–												
Mg _{ПФ4} (0,5 М CH ₃ COOH)	x	0,77	0,73	0,53	–											
Mg _{вод1} (атомно-абсорб. спектрометрия)	x	0,38	0,37	x	0,30	–										
Mg _{вод2} (капиллярный электрофорез)	x	0,57	0,56	0,49	0,44	0,45	–									
Mg _{раст1} (мокрое озоление)	x	0,30	0,36	x	x	x	x	–								
Mg _{раст2} (сухое озоление)	x	0,39	0,39	x	x	x	x	0,67	–							
Гумус	x	0,81	0,74	0,46	0,70	0,42	0,54	0,38	0,39	–						
pH _{вод}	x	0,40	0,43	0,46	0,28	x	x	x	x	x	–					
Физ. глина	x	0,52	0,58	0,53	0,31	x	0,45	x	x	x	0,53	–				
Пыль средняя	x	x	x	x	x	x	x	0,34	x	0,43	x	x	–			
Пыль мелкая	x	0,76	0,68	0,45	0,57	0,31	0,42	x	0,36	0,78	x	0,39	x	–		
Ил	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-0,53	0,37	0,52	-0,58	-0,40	–	
Запасы надземной фитомассы (ЗНФ)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	–

Примечание.

Жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции заметной и высокой силы связи и рассчитаны с $p < 0,01$; без выделения – умеренной силы связи и рассчитаны с $p < 0,05$; крестиком – статистически незначимы

Содержание водорастворимого магния в исследованных нами тяжелосуглинистых почвах склона и легкообменного магния (экстрагируемого 0,0025 М CaCl₂) в среднесуглинистой почве полевого опыта (Якименко, 2019) имело довольно близкие величины, несмотря на значительные различия по содержанию подвижного магния, экстрагируемого 1 М CH₃COONH₄. Так, в серой лесной почве целинного участка содержание легкообменного магния варьировало от 0,10 (0-20 см) до 0,16 смоль(экв)·кг⁻¹ (80-100 см); в вариантах без удобрений (контроль) и с внесением NP и NPK-удобрений данный показатель значительно снизился в слое 0-40 см – до 0,05-0,07 смоль(экв)·кг⁻¹. В пахотном горизонте тяжелосуглинистых почв Предсалаирья содержание водорастворимого магния менялось в широком диапазоне (от 0,02 до 0,19 смоль(экв)·кг⁻¹) с наибольшими средними величинами в сильногумусированных агрочерноземах (0,08-0,09 смоль(экв)·кг⁻¹) в верхней части склона на ВС₁ (см. табл. 2).

Инвентаризация почв склонового агроландшафта по магниевому состоянию с составлением цифровых карт содержания валового магния, подвижной (обменной) и водорастворимой форм элемента (рис. 2) позволила более наглядно определить географическое расположение почв с различной обеспеченностью культур магнием и выявить почвенные ареалы, в которых необходим более пристальный контроль за уровнем магниевого питания растений.

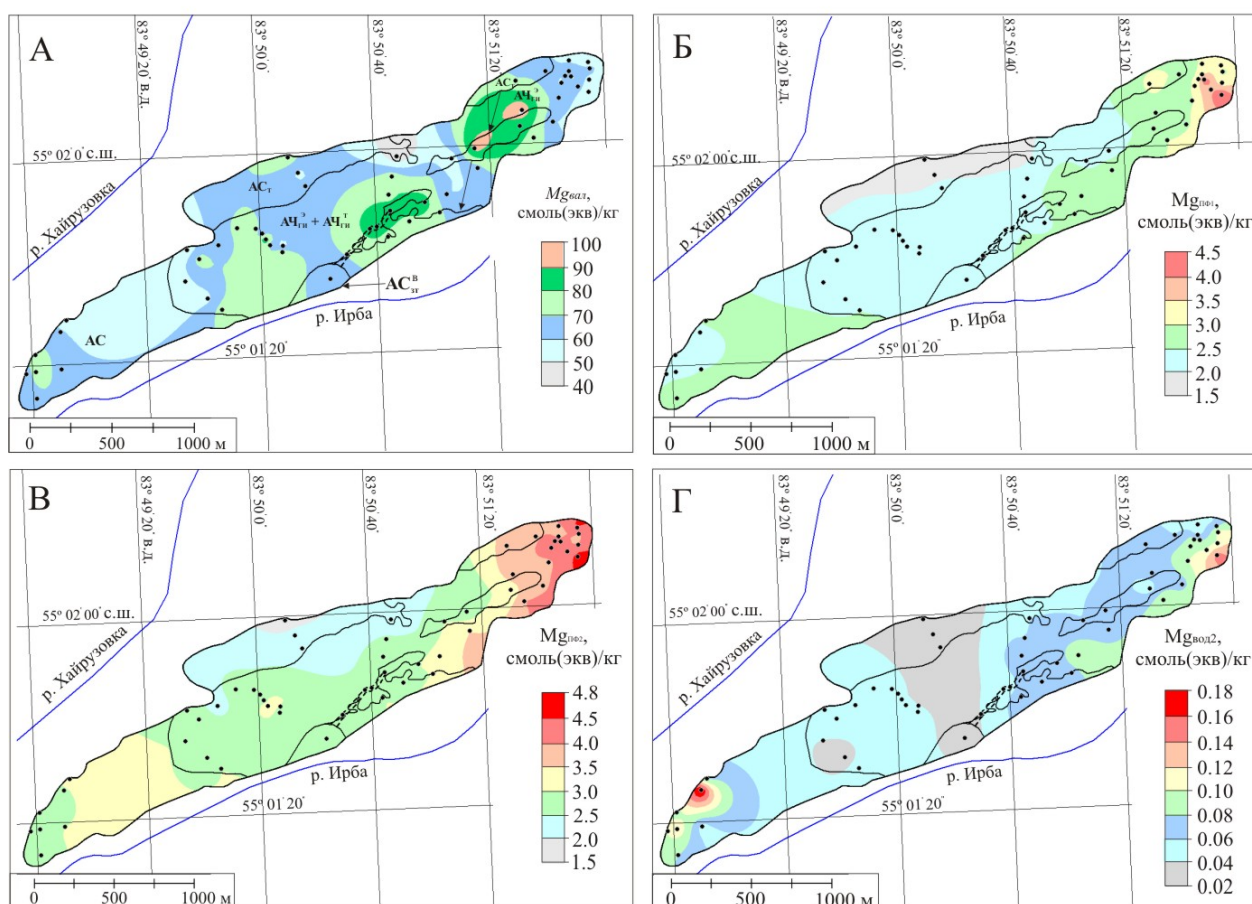


Рисунок 2. Магниевое состояние почв склонового агроландшафта.

Содержание магния: А – валового ($Mg_{вал}$), Б и В – подвижного ($Mg_{пф1}$ в вытяжке с 1 М KCl и $Mg_{пф2}$ – с 1 М CH₃COONH₄), Г – водорастворимого ($Mg_{вод2}$).

Условные обозначения: сплошной линией показаны контуры почв; пунктирной – ложбина стока; точками – схема отбора почвенных проб. Аббревиатура с обозначением почв – см. табл. 1.

Существенных различий в запасах надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси, произрастающей на сильно- и среднегумусированных почвах, не выявлено (см. табл. 2). Известно, что содержание магния в растениях зависит от многих факторов: от вида, фазы развития и физиологического состояния растений, условий питания. Например, зерновые культуры потребляют мало магния, но очень чувствительны к его недостатку, особенно в ранний период их

развития (Аристархов, 2000). Содержание магния в растениях менее 0,20% считается проявлением дефицита, 0,25-1,00% – достаточным (оптимальным), более 1,50% – высоким или даже токсичным (Handbook..., 1998). Однако магний относится к наименее токсичным элементам в условиях их избытка (Ильин, Гармаш, 1985). От недостатка магния страдают, прежде всего, бобовые, картофель, ряд овощных культур. Характерным признаком магниевое голодания растений является пожелтение листьев, заметное в первую очередь в нижних, более старых листьях, а также ломкость, морщинистость или скручивание листьев, замедление роста, запаздывание фаз развития растений (Мазаева, 1967, 1977; Афанасьев, 2005; Тихомирова, 2011; Tanol, Kobayashi, 2015). Содержание магния в надземной фитомассе овсяно-гороховой смеси, отобранной в фазу кушения злакового компонента, с пробоподготовкой сухим озолением образцов в 1,3-1,6 раза выше, чем мокрым озолением (см. табл. 2). Однако как при сухом, так и мокрым озолении образцов содержание магния в растениях на среднегумусированных агросерых почвах было существенно ниже, чем в сильногумусированных агрочерноземах. Это может быть связано, на наш взгляд, со снижением поглощения магния растениями, произрастающих на почвах с более низкой влажностью (13,4%) в нижней части по сравнению с почвами в верхней (22,2%) и средней (16,7-18,2%) частями склона. Установлены положительные корреляции умеренной силы связи между содержанием магния в растениях и подвижного магния в почвах, экстрагируемого 1 М КСl и 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (см. табл. 3). В целом содержание магния в травосмеси соответствовало оптимальному уровню при использовании метода сухого озоления.

ВЫВОДЫ

1. В условиях склонового агроландшафта Предсалаирья на юго-востоке Западной Сибири сильногумусированные почвы (5-8% гумуса, агрочерноземы) в верхней части склона лучше обеспечены подвижным магнием, чем среднегумусированные почвы (3-5%, агрочерноземы, агротемно-серые и агросерые) в средней и нижней частях склона. Среднее содержание подвижного магния в сильногумусированных почвах варьировало от 3,2 до 4,0 смоль(экв)·кг⁻¹ в зависимости от экстрагента, в среднегумусированных почвах – от 2,2 до 3,2 смоль(экв)·кг⁻¹.

2. Результаты по содержанию водорастворимого магния в почвах склона, полученные методами атомно-абсорбционной спектроскопии и капиллярного электрофореза (из одной и той же вытяжки) очень близки: в среднем 0,06-0,08 и 0,04-0,09 смоль(экв)·кг⁻¹. Однако более чувствительным к снижению содержания водорастворимого магния в среднегумусированных почвах в средней части склона по сравнению с сильногумусированными почвами в верхней части был метод капиллярного электрофореза.

3. Среднее валовое содержание магния в почвах склона варьировало от 0,79 до 0,88%. Доля подвижного магния от валового содержания элемента в почвах составила в среднем 3,3-6,0%, водорастворимого магния – 0,06-0,13%. В среднегумусированных почвах вниз по склону установлено постепенное снижение содержания валового магния в ряду агрочерноземы → агротемно-серые → агросерые, и подобная закономерность выявлена нами ранее по содержанию в почвах валовых фосфора и калия.

4. Существенных различий в запасах надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси, произрастающей на сильно- и среднегумусированных почвах, не выявлено. Содержание магния в травосмеси, определенное методом сухого озоления составило в среднем 0,21-0,26% и соответствовало оптимальному уровню, мокрым озолением – было ниже в 1,3-1,6 раза.

5. Между содержанием подвижного (обменного) магния в почвах, определенного с использованием различных экстрагентов (1 М КСl, 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 0,1 М $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5(\text{NH}_4)_2$, 0,5 М CH_3COOH), установлены положительные корреляции, однако наиболее тесная связь выявлена с количеством магния в 1 М КСl и 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ($r = 0,87$ при $p < 0,01$ и $n = 55$). Последние два экстрагента оказались наиболее чувствительными к снижению содержания подвижного магния, а также выявлены положительные корреляции между количеством магния в почвах, экстрагируемого 1 М КСl и 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, и содержанием магния в растениях. Поэтому для оценки магниевое состояние почв Предсалаирья целесообразнее использовать 1 М КСl или 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с возможностью одновременного определения в одной и той же почвенной вытяжке других показателей (обменные кальций и калий, рН солевой и т.д.) в зависимости от экстрагента.

6. В соответствии с грациями по содержанию в почвах подвижного (обменного) магния, экстрагируемого 1 М КСl, разработанными в ЦИНАО для агрохимслужбы России, сильногумусированные тяжелосуглинистые почвы Предсалаирья в верхней части склона с

варьированием содержания магния от 3,2 до 4,5 смоль(экв)·кг⁻¹ относятся к высоко и очень высоко обеспеченным; среднегумусированные почвы в средней и нижней частях склона с содержанием магния от 1,4 до 2,9 смоль(экв)·кг⁻¹ – к среднему и повышенному уровню обеспеченности. Наши результаты подтверждают литературные данные о том, что по содержанию подвижного магния большинство пахотных почв Западно-Сибирского экономического района России (около 80%) характеризуются как повышено обеспеченные (>2,0 смоль(экв)·кг⁻¹).

ФИНАСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Бугровской Г.А., Галузо Н.А., Кривчун А.Ю., Смоленцеву Н.Б., Черепахиной Л.Д. за помощь в проведении лабораторно-аналитических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агрохимические методы исследования почв*. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Алтухов А.И., Сычев В.Г., Винничек Л.Б. Развитие производства и рынка минеральных удобрений // *Плодородие*. 2019. № 3. С. 6-9. doi: [10/25680/S19948603.2019.108.02](https://doi.org/10/25680/S19948603.2019.108.02)
3. Аристархов А.Н. *Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах* / Под редакцией академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: ЦИНАО, 2000. 524 с.
4. Аристархов А.Н. Агрохимическое обоснование применения магниевых удобрений // *Плодородие*. 2002. № 2(5). С. 15-17.
5. Афанасьев Р.А. Магний в системе почва – растение – животное // *Плодородие*. 2005. № 5(26). С. 19-21.
6. Башкин В.Н., Лучицкая О.А., Козлов М.Я., Волошина О.Н. Дифференциация почв и содержание в них подвижных форм некоторых биофильных элементов в связи с рельефом // *Почвоведение*. 1991. № 12. С. 15-23.
7. Безуглов В.Г., Гогмачадзе Г.Д., Синиговец М.Е. Состояние с эрозией почв в России // *АгроЭкоИнфо*. 2008. № 1 (2).
8. Богдевич И.М., Ломонос О.Л., Таврыкина О.М. Динамика степени кислотности, обеспеченности кальцием и магнием пахотных и луговых почв Беларуси в результате известкования // *Почвоведение и агрохимия*. 2014. № 1(52). С. 159-172.
9. Воробьева Л.А., Ладонин Д.В., Лопухина О.В., Рудакова Т.А., Кирюшин А.В. *Химический анализ почв. Вопросы и ответы*. М. 2012. 186 с.
10. Воеводица Л.А., Воеводин О.В. Магний для почвы и растений // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, 2015. № 2 (18). С. 70-81.
11. ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1985.
12. Годунова Е.И., Чижикова Н.П., Шкабарда С.Н. Природные запасы магния в почвах Ставропольской возвышенности при разном уровне агрогенного воздействия в агроландшафте // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. № 4. С. 9-11.
13. Гопп Н.В., Нечаева Т.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В., Смирнов В.В. Применение цифровой модели высот (ASTERGDEM, 30 м) для оценки пространственной изменчивости содержания основных макроэлементов в агросерой почве склона // *Агрохимия*. 2016. № 4. С. 46-54.
14. 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. doi: [10.31251/pos.v1i1.7](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.7)
15. Гопп Н.В., Савенков О.А., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В., Смирнов А.В. Использование NDVI в цифровом картографировании содержания фосфора в почвах и оценка обеспеченности им растений // *Исследование Земли из космоса*. 2019. № 2. С. 65-73. doi: [10.31857/S0205-96142019265-73](https://doi.org/10.31857/S0205-96142019265-73)
16. Губина Д.А. Изменение гранулометрического состава пахотных почв подтаежной зоны Томской области при водной эрозии // *Плодородие*. 2014. № 6. С. 23-24.
17. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства серых лесных почв склонового агроландшафта // *Агрохимия*. 2013. № 11. С. 19-25.
18. Жилко В.В., Жукова И.И., Черныш А.Ф., Цыбулька Н.Н., Тишук Л.А. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией, из дерново-палево-подзолистых почв Белоруссии // *Агрохимия*. 1999. № 10. С. 41-46.
19. Ильин В.Б., Гармаш Т.А. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 1985. № 6. С. 90-100.
20. Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е. *Агроэкология почв склонов*. М.: Колос, 1997. 240 с.
21. *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. 224 с.

22. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
23. Мазаева М.М. О критическом содержании магния в почвах // *Агрохимия*. 1967. № 10. С. 93-105.
24. Мазаева М.М. Об обеднении дерново-подзолистой почвы магнием и возможность проявления необеспеченности им растений при длительном систематическом применении NPK-удобрений // *Агрохимия*. 1977. № 9. С. 97-101.
25. Михайловская Н.А., Таврыкина О.М., Пуятин Ю.В., Погирницкая Т.В. Влияние обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием на ее биологическую активность и урожайность сельскохозяйственных культур // *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2015. № 2. С. 36-46.
26. Нечаева Т.В., Быкова С.Л. Роль агрохимии в условиях современного земледелия в России // *Живые и биокосные системы*. 2014. № 7
27. Нечаева Т.В., Смирнова Н.В., Гопп Н.В., Савенков О.А. Изменение агрохимических параметров плодородия пахотных почв склона на юге Западной Сибири // *Плодородие*. 2017. № 2(95). С. 2-5.
28. Нечаева Т.В., Гопп Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Калийное состояние почв склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // *Земледелие*. 2019а. № 1. С. 10-14. doi: [10.24411/0044-3913-2019-10103](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10103)
29. Нечаева Т.В., Гопп Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Фосфатное состояние почв склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2019б. Т. 148. С. 68-76. doi: [10.25684/NBG.scbook.148.2019.07](https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.148.2019.07)
30. Норкина И.А., Пименов Е.А., Шильников И.А., Мельникова М.Н., Брагин И.В., Аристархова Г.Г. *Рекомендации по применению магнийсодержащих удобрений в условиях интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур*. М., 1988. 22 с.
31. *Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований*. М.: Колос, 1973. 73 с.
32. Орлов А.Д. *Эрозия и эрозионноопасные земли Западной Сибири*. Новосибирск: Наука, 1983. 208 с.
33. Орлов Д.С. *Химия почв*. М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
34. Панинников В.Д., Минеев В.Г. *Почва, климат, удобрение и урожай*. М. 1977. 416 с.
35. Погуленко А.А. Экологическая устойчивость агроландшафтов при использовании в пашне // *Сибирский вестник сельскохозяйственных наук*. 2013. № 4. С. 5-11.
36. *Полевой определитель почв России*. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
37. *Практикум по агрохимии*. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: Издательство МГУ, 2001. 689 с.
38. Савельева Д.А. Особенности трансформации некоторых показателей гумусного состояния пахотных почв в эрозионных ландшафтах подтайги Томской области // *Земледелие*. 2016. № 7. С. 19-23.
39. Савоськина О.А. Почвозащитные приемы обработки – важнейший резерв снижения потерь биофильных элементов на эрозионноопасных землях // *Агрохимический вестник*. 2011. № 1. С. 19-23.
40. Станилевич И.С., Пуятин Ю.В., Богдевич И.М. Качество зерна ярового тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и доз минеральных удобрений // *Почвоведение и агрохимия*. 2018. № 2(61). С. 80-88.
41. Таврыкина О.М., Богдевич И.М., Пуятин Ю.В., Довнар В.А., Третьяков Е.С., Маркевич Д.В. Влияние возрастающих уровней обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием и удобрений на урожайность и качество зеленой массы кукурузы // *Агрохимия*. 2013. № 10. С. 39-45.
42. Танасиенко А.А. *Специфика эрозии почв в Сибири*. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. 176 с.
43. Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П., Миллер Г.Ф. Условия и интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов в лесостепи Предсалаирья // *Почвоведение*. 2013. № 11. С. 1397-1408. doi: [10.7868/S0032180X13110099](https://doi.org/10.7868/S0032180X13110099)
44. Тихомирова В.Я. Влияние свойств почв, удобрений, извести и погодных условий на обеспеченность магнием сельскохозяйственных растений // *Агрохимия*. 2011. № 5. С. 84-89.
45. Тихомирова В.Я., Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н. Градация обеспеченности магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы для культуры льна-долгунца // *Агрохимия*. 2011. № 8. С. 8-13.
46. Труфанова О.М., Рахимгалиева С.Ж., Худякова В.М. Формы соединений магния в темно-каштановых почвах Западного Казахстана при различном хозяйственном использовании // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2014. № 37. С. 56-61.
47. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. *Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования*. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 349 с.
48. Чернышев Е.П., Иванова Н.Б. Потери органических и минеральных веществ почвами центра и юга Русской равнины при снеготаянии // *Почвоведение*. 1993. № 2. С. 73-83.
49. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Онищенко Л.М., Бочко Т.Ф., Лебедовский И.А., Осипов М.А., Есипенко С.В. Содержание и формы соединений магния в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2015. № 112. С. 1722-1732.

50. Шикунда Н.К., Ломакин М.М. Потери питательных веществ из серых оподзоленных почв с поверхностным стоком. // *Почвоведение*. 1978. № 4. С. 113-121.
51. Явтушенко В.Е., Макаров Н.Б. Потери органического вещества и элементов питания растений из почвы в результате водной эрозии // *Агрохимия*. 1996. № 4. С. 117-123.
52. Якименко В.Н. Потребление калия и магния картофелем и изменение их содержания в почве полевого опыта // *Плодородие*. 2018. № 5. С. 19-22. doi: [10.25680/S19948603.2018.104.06](https://doi.org/10.25680/S19948603.2018.104.06)
53. Якименко В.Н. Изменение содержания калия и магния в профиле почвы длительного полевого опыта // *Агрохимия*. 2019. № 3. С. 19-29. doi: [10.1134/S0002188119030153](https://doi.org/10.1134/S0002188119030153)
54. 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.
55. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Плодородие почв склона, структура и качество урожая яровой пшеницы на юге Западной Сибири // *Почвы и окружающая среда*. 2018. № 1(3). С. 126-142. doi: [10.31251/pos.v1i3.37](https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.37)
56. Яхияев М.А., Салихов Ш.К., Абдулкадырова С.О., Асельдерова А.Ш., Сурхаева З.З., Казанбиева П.Д., Ибрагимова Э.И., Алиева Д.З., Адилова М.А., Абусуева Б.А., Абусуева З.С. Содержание магния в окружающей среде и заболеваемость населения артериальной гипертензией // *Гигиена и санитария*. 2019. Т. 98. № 5. С. 494-497. doi: [10.18821/0016-9900-2019-98-5-494-497](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-494-497)
57. Bezuglova O.S. Soil and human health // *Science Almanac of Black Sea Region Countries*. 2017. No. 2 (10). p. 68-73. doi: [10.23947/2414-1143-2017-10-2-68-73](https://doi.org/10.23947/2414-1143-2017-10-2-68-73)
58. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.K., Khabirov I.K., Fruehauf M., Liebelt P. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region // *Eurasian Soil Science*. 2016. T. 49. No. 10. p. 1204-1210. doi: [10.1134/S1064229316100070](https://doi.org/10.1134/S1064229316100070)
59. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. The methods of geomorphometry and digital soil mapping for assessing spatial variability in the properties of agrogray soils on a slope // *Eurasian Soil Science*. 2017a. Vol. 50. No. 1. p. 20-29. doi: [10.1134/S1064229317010082](https://doi.org/10.1134/S1064229317010082)
60. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. Indicative capacity of NDVI in predictive mapping of the properties of plow horizons of soils on slopes in the south of Western Siberia // *Eurasian Soil Science*. 2017b. Vol. 50. No. 11. p. 1331-1342. doi: [10.1134/S1064229317110060](https://doi.org/10.1134/S1064229317110060)
61. 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.
62. *Handbook of reference methods for plant analysis* / Edited by Yash P. Kalra. Boca Raton, Boston, London, New York, Washington: CRC Press, 1998. 287 p.
63. Jakovljević Miodrag D., Kostić Nikola M., Antić-Mladenović Svetlana B. The availability of base elements (Ca, Mg, Na, K) in some important soil types in Serbia // *Зборник Материје српске за природне науке / Proceedings for Natural Sciences, Matica Srpska Novi Sad*. 2003. No. 104. p. 11-21. doi: [10.2298/ZMSPN0304011J](https://doi.org/10.2298/ZMSPN0304011J)
64. Lai R. *Sustainable development and management of land and water resources* // FAO Netherlands conference on agriculture and the environment, Hertogenbosch. Background docum. No1. Rome, 1991. 22 p.
65. Mikkelsen R. Soil and Fertilizer Magnesium // *Better Crops*. 2010. Vol. 94. No. 2.
66. Marschner H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. London, 2011. 672 p.
67. Shiwakoti S., Zheljzkov V.D., Gollany H.T., Kleber M. and Xing B. Macronutrients in soil and wheat as affected by a long-term tillage and nitrogen fertilization in winter wheat–fallow rotation // *Agronomy*. 2019. 9, 178. doi: [10.3390/agronomy9040178](https://doi.org/10.3390/agronomy9040178)
68. Tanol K., Kobayashi N.I. Leaf senescence by magnesium deficiency // *Plants*. 2015. No. 4(4). p. 756-772.
69. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Consequences of snowmelt erosion: Soil fertility, productivity and quality of wheat on GreyzemicPhaeozem in the south of West Siberia // *Agriculture, Ecosystem and Environment* (200). 2015. p. 88-93. doi: [10.1016/j.agee.2014.10.021](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.021)
70. Zebire D.A., Ayele T., Ayana M. Characterizing soils and the enduring nature of land uses around the Lake Chamo Basin in South-West Ethiopia // *Journal of Ecology and Environment*. 2019. 43:15. doi: [10.1186/s41610-019-0104-9](https://doi.org/10.1186/s41610-019-0104-9)

Поступила в редакцию 13.12.2019

Принята 19.12.2019

Опубликована 30.12.2019

Сведения об авторах:

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

Гопп Наталья Владимировна - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); gopp@issa-siberia.ru

Савенков Олег Александрович - кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); savenkov@issa-siberia.ru

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

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

MAGNESIUM IN SOILS AND PLANTS OF A SLOPING AGROLANDSCAPE IN THE SOUTH-EAST OF WEST SIBERIA

© 2019 T.V. Nechaeva , N.V. Gopp , O.A. Savenkov, N.V. Smirnova 

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

The aim of the study. To carry out a comparative assessment of the magnesium status in soils, situated on the various hypsometric levels of sloped agrolandscape and with different soil organic matter content by measuring total, mobile (exchangeable) and water-soluble magnesium in soils and to compare different analytical methods for determining magnesium in soils and plants.

Location and time of the study. The study site was located in the Cis-Salair drained plain in the south-east of West Siberia (55°02'20"N; 83°50'00"E), administratively being within the boundaries of the Toguchin district of the Novosibirsk region, Russia. Altitude increments were marked on the slope positions of the investigated plot of 225 hectares in area and 4 km in length: the upper part of the slope BC_I (280-310 m a.s.l.), the midslope BC_{II} (260-280 m) and BC_{III} (220-260 m), and the lower slope BC_{IV} (190-220 m) (see figure 1). Soil and plant samples were collected in July 2013.

Materials and methods. Prevailing soils were podzolized and leached chernozems, dark-gray and gray-forest soils according to the classification of soils of the USSR (1977), which correspond to clayey-illuvial eluvial and dark-tongue agrochernozems, agro-dark gray soils and agro-gray soils to according of the Russian soil classification (2004, 2008), or Luvic Greyzemic Chernozems, Haplic Chernozems, Luvic Greyzemic Phaeozems, Luvic Retic Greyzemic Phaeozems by WRB Soil Classification (2014) (see table 1, figure 1). Individual soil samples (n=55) were taken with a drill from 0-30 cm layer (ploughed horizon) according to an irregular grid. The aboveground phytomass stock of oat-pea mixture (n=38) was collected using the hay cutting method on the 0.25 m² area. The geographical coordinates of the soil and plant sampling sites were determined using the geopositioning system (GPS, Garmin eTrex Vista).

The soil samples were analyzed for organic carbon content by dichromate digestion. Overall the studied soils were grouped according to soil organic matter (SOM) content into high-SOM (5–8%) and medium-SOM soils (3–5%). Total magnesium (Mg_{tot}) was measured in dry powdered samples by atomic emission spectrometry; mobile (exchangeable) magnesium was measured by atomic absorption spectrometry using 1 M KCl, 1 M CH₃COONH₄, 0.1 M C₄H₄O₅(NH₄)₂ and 0.5 M CH₃COOH as extracting solutions. The same extracts were used to measure water-soluble magnesium atomic absorption spectrometry and capillary electrophoresis. The content of total magnesium in plants was determined by atomic absorption spectrometry using two methods of sample digestion, namely wet ashing in a mixture of sulfuric and perchloric acids and dry ashing followed by quantitative transfer of the digest with 1 M HCl. Magnesium content in soils and plants was presented per element and calculated on the air-dry mass basis. Statistical analyses (descriptive statistics, correlation analysis, calculation of student criterion and Mann-Whitney U-test) were performed using Microsoft Office Excel 2007 and Statistica v.6.1.

Results. The average content of total magnesium in the slope soils varied from 0.79 to 0.88%. The proportion of mobile magnesium in its total content in soils averaged 3.3-6.0%, whereas that of water-soluble magnesium was 0.06-0.13%. In medium-SOM soils down along the slope the total magnesium content gradually decreased: agrochernozems → agro-dark gray soils → agro-gray soils (see table 2, figure 2). The similar pattern was revealed an earlier for the content of total phosphorus and total potassium in the slope soils. The average content of mobile magnesium in the high-SOM soils on the upper part of the slope (BC_I) varied from 3.2 to 4.0 cmol(+)·kg⁻¹, depending on the extractant used. The medium-SOM soils (BC_{II-IV}) contained 2.2 to 3.2 cmol(+)·kg⁻¹ of mobile magnesium. Atomic absorption spectrometry and capillary

electrophoresis produced very close values water-soluble magnesium content in soils: on average, 0.06-0.08 and 0.04-0.09 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. However, capillary electrophoresis proved to be more sensitive to the decreased content of water-soluble magnesium in the midslope medium-SOM soils. Magnesium content in aboveground phytomass of an oat-pea mixture, collected in the tillering phase of its cereal component, determined by dry ashing, averaged 0.21-0.26%, which corresponded to the optimal level of the element; estimated by wet ashing it was 1.3-1.6 times lower (see table 2).

Conclusions. Under the conditions of the sloping agrolandscape of the Cis-Salair in the south-eastern part of West Siberia, high-SOM soils in the upper part of the slope are characterized by higher content of mobile magnesium as compared with the medium-SOM soils mid- and downslope. We believe that for assessing magnesium status of soils it is more expedient to use 1 M KCl or 1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ to determine mobile (exchangeable) magnesium. Moreover, these extractants can be used for simultaneous determination of other soil properties, i.e. exchangeable calcium and potassium content, pH_{salb} etc.

Key words: humus; soil organic matter; magnesium: total, mobile (exchangeable), water-soluble forms; erosion; slope; altitude steps; phytomass reserves; magnesium in plants; Novosibirsk region

How to cite: Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Magnesium in soils and plants of a sloping agrolandscape in the south-east of West Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2019. 2(4). e91. doi: [10.31251/pos.v2i4.91](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.91) (in Russian with an English abstract).

REFERENCES

1. *Agrochemical soil research methods*. Moscow: Nauka Publ., 1975, 656 p. (in Russian)
2. Altuhov A.I., Sychov V.G., Vinnichuk L.B. Development of production and market of mineral fertilizers, *Plodorodiye*, 2019, No. 3(108), p. 6-9. doi: [10.25680/S19948603.2019.108.02](https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.02) (in Russian)
3. Aristarkhov A.N. *Optimization of plant nutrition and the use of fertilizers in agroecosystems*. Moscow: CINAO Publ., 2000, 524 p. (in Russian)
4. Aristarkhov A.N. Agrochemical justification for the use of magnesium fertilizers, *Plodorodiye*, 2002, No. 2(5), p. 15-17. (in Russian)
5. Afanas'yev R.A. Magnesium in the soil - plant - animal system, *Plodorodiye*, 2005, No. 5(26), p. 19-21. (in Russian)
6. Bashkin V.N., Luchitskaya O.A., Kozlov M.Ya., Voloshina O.N. Differentiation of soils and content of biophylous elements in them as related to topography, *Pochvovedenie*, 1991, No. 12, p. 15-23. (in Russian)
7. Bezuglov V.G., Gogmachadze G.D., Sinigovets M.E. State with soil erosion in Russia, *AgroEcoInfo*, 2008, No. 1(2). (in Russian)
8. Bogdevitch I.M., Lomonos O.L., Tavrykina O.M. Dynamics of acidity, calcium and magnesium supply in the arable and grassland soils of Belarus in the course of liming, *Pochvovedenie i agrokhimia*, 2014, No. 1(52), p. 159-172. (in Belarus)
9. Vorobyova L.A., Ladonin D.V., Lopukhina O.V., Rudakova T.A., Kiryushin A.V. *Chemical Analysis of Soil. Questions and Answers*. Moscow, 2012, 186 p. (in Russian)
10. Voyevodina L.A., Voyevodin O.V. Magnesium for soil and plants, *Scientific journal of Russian scientific research institute of land improvement problems*, 2015, No. 2(18), p. 70-81. (in Russian)
11. GOST 26487-85 Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by CINAO methods. Moscow: Standard Publishing House, 1985. (in Russian)
12. Godunova E.I., Chizhikova N.A., Shkabarda S.N. Natural enough magnesium in soil Stavropol Height at different levels in agricultural landscapes agrogenno impact, *Achievements of Science and Technology of AIC*, 2013, No. 4, p. 9-11. (in Russian)
13. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. The Use of a digital model (ASTER GDEM, 30 m) to estimate the spatial variability of the content of basic macronutrients in agrostroj soil slope, *Agrokhimia*, 2016, No. 4, p. 46-54. (in Russian)
14. 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, No. 1(1), p. 32-44. doi: [10.31251/pos.v1i1.7](https://doi.org/10.31251/pos.v1i1.7) (in Russian with English abstract)
15. Gopp N.V., Savenkov O.A., Nechaeva T.V., Smirnova N.V., Smirnov A.V. Application of NDVI in Digital Mapping of Phosphorus Content in Soils and Phosphorus Supply Assessment in Plants, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, Vol. 55, No. 9, p. 1322-1328. doi: [10.31857/S0205-96142019265-73](https://doi.org/10.31857/S0205-96142019265-73) (in Russian)
16. Gubina D.A. Changes of the particle size distribution in arable soils of the subtaiga zone in the Tomsk region under water erosion, *Plodorodiye*, 2014, No. 6(81), p. 23-24. (in Russian)
17. Dubovik E.V., Dubovik D.V. Agrochemical properties of grey forest soils in sloped agrolandscape, *Agrokhimia*, 2013, No. 11, p. 19-25. (in Russian)
18. Zhilko V.V., Zhukova I.I., Chernysh A.F., Tsybul'ka N.N., Tishuk L.A. Losses of humus and macronutrients caused by water erosion from sod-pale-podzolic soils of Belarus, *Agrokhimia*, 1999, No. 10, p. 41-46. (in Russian)

19. Il'in V.B., Garmash T.A., Garmash N.Yu. The influence of heavy metals on the growth, development and productivity of crops, *Agrokhimia*, 1985, No. 6, p. 90-100. (in Russian)
20. Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. *Agroecology of slope soils*. Moscow, Kolos Publ., 1997, 240 p. (in Russian)
21. *Classification and diagnostics of Soils of the USSR* / Compiled by: V.V. Egorov, V.M. Friedland, E.N. Ivanova, N.N. Rozova, V.A. Nosin, T.A. Friev. Moscow: Kolos Publ., 1977. 224 p. (in Russian)
22. *Classification and diagnostics of Soils of Russian* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian)
23. Mazayeva M.M. On the critical content of magnesium in soils, *Agrokhimia*, 1967, No. 10, p. 93-105. (in Russian)
24. Mazayeva M.M. On the depletion of sod-podzolic soil with magnesium and the possibility of manifestation of plant insecurity during prolonged systematic use of NPK fertilizers, *Agrokhimia*, 1977, No. 9, p. 97-101. (in Russian)
25. [Mikhailovskaya N.A., Tavrykina O.M., Putyatin Yu. V., Pogirnikskaya T.V. Influence of the supply of fluvisol sandy loam soil with exchangeable magnesium on its biological activity and the yield of crops, *Herald of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Agrarian Sciences*, 2015, No. 2. p. 36-46. \(in Belarus\)](#)
26. [Nechaeva T.V., Bykova S.L. The role of agrochemistry in the conditions of modern agriculture in Russia, *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2014, No. 7. \(in Russian\)](#)
27. [Nechaeva T.V., Smirnova N.V., Gopp N.V., Savenkov O.A. Changes in the agrochemical parameters of fertility of sloped arable soils in the southern regions of Western Siberia, *Plodorodie*, 2017, No. 2\(95\), p. 2-5. \(in Russian\)](#)
28. [Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Potassium Status of the Slope Agricultural Landscape in the South-East of Western Siberia, *Zemledelie*, 2019a, No. 1, p. 10-14. doi: 10.24411/0044-3913-2019-10103 \(in Russian\)](#)
29. [Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Phosphate state of soils of the slope agricultural landscape in the south-east of Western Siberia, *Works of the State Nikin. Botan. Gard*, 2019b, Vol. 148, p. 68-76. doi: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.07 \(in Russian\)](#)
30. Norkina I.A., Pimenov E.A., Shilnikov I.A., Melnikova M.N., Bragin I.V., Aristarhova G.G. *Recommendations on the use of magnesium-containing fertilizers in conditions of intensive crop cultivation technologies*. Moscow, 1988. 22 p. (in Russian)
31. *Union manual on soil surveys and development of large scale soil maps of land use*. Moscow: Kolos, 1973. 73 p. (in Russian)
32. Orlov A.D. *Erosion and eroded of land in Western Siberia*. Novosibirsk: Nauka, 1983. 208 p. (in Russian)
33. Orlov D.S. *Soil chemistry*. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1992. 400 p. (in Russian)
34. Pannikov V.D., Mineev V.G. *Soil, climate, fertilizer and crop*. M. 1977. 416 p. (in Russian)
35. [Pogulenko A.A. Ecological stability of agrolandscapes used as plowed land, *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2013, No. 4, p. 5-11. \(in Russian\)](#)
36. *Field guide for Russian soil*. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian)
37. *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)
38. [Saveleva D.A. Transformation peculiarities of some indicators of humus state of arable soils in erosion landscapes in sub-taiga zone of Tomsk region, *Zemledelie*, 2016, No. 7, p. 19-23. \(in Russian\)](#)
39. [Savoskina O.A. Soil-protecting devices of treatment - the most important reserve of biophilus elements' losses decrease on erosion dangerous lands, *Agrochemical Herald*, 2011, No. 1, p. 19-23. \(in Russian\)](#)
40. [Stanilevich I.S., Putyatin Yu. V., Bogdevich I.M. The quality of spring triticale grain depending on the exchangeable magnesium supply of sod-podzolic loamy soil and rates of mineral fertilizers, *Pochvovedenie i Agrokhimia*, 2018, No. 2\(61\), p. 80-88. \(in Belarus\)](#)
41. [Tavrykina O.M., Bogdevich I.M., Putyatin Yu.V., Dovnar V.A., Tret'yakov E.S., Markevich D.V. Effect of increasing levels of exchangeable magnesium in sandy loamy soddy-podzolic soil and fertilizers on the yield and quality of corn green mass, *Agrokhimia*, 2013, No. 10, p. 39-45. \(in Russian\)](#)
42. Tanasienko A.A. *Specific features of soil erosion in Siberia*. Novosibirsk: Published by Siberian branch of RAS, 2003. 176 p. (in Russian)
43. [Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P., Miller G.F. Conditions and intensity of erosion-accumulation processes in the forest-steppe of the Cis-Salair, *Pochvovedenie*, 2013, No. 11, p. 1397-1408. doi: 10.7868/S0032180X13110099 \(in Russian\)](#)
44. [Tikhomirova V. Ya. Effect of soil environment, mineral fertilizers, potassium, weather conditions on the magnesium supply of agricultural crops, *Agrokhimia*, 2011, No. 5, p. 84-89. \(in Russian\)](#)
45. [Tikhomirova V.Ya., Sorokina O.Yu., Kuzmenko N.N. Magnesium supply scale for sandy loamy soddy-podzolic soil of fiber flax plantations, *Agrokhimia*, 2011, No. 8, p. 8-13. \(in Russian\)](#)
46. [Trufanova O.M., Rahemgalieva S. Zh., Khudyakova V.M. Forms of magnesium compounds in dark chestnut soils of Western Kazakhstan with different agricultural use, *Izvestiya SPbSAU*, 2014, No. 37, p. 56-61. \(in Russian\)](#)
47. Khmelev V.A., Tanasienko A.A. *Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use*. Novosibirsk: Published by Siberian branch of RAS, 2009. 349 p. (in Russian)
48. [Chernishev E.P., Ivanova N.B. Losses of organic and mineral substances by soils of the center and south of the Russian Plain during snowmelt, *Pochvovedenie*, 1993, No. 2, p. 73-83. \(in Russian\)](#)

49. Sheudzhen A.Kh., Bondareva T.N., Onishchenko L.M., Bochco T.F., Lebedovsky I.A., Osipov M.A., Esipenko S.V. The content and the forms of magnesium compound in leached black soil (chernozem) of Western Ciscaucasia in the agrogenesis, *Scientific Journal of KubSAU*, 2015, No. 112(08) (in Russian)
50. Shikula N.K., Lomakin M.M. Loss of nutrients from gray podzolized soils with surface runoff, *Pochvovedenie*, 1978. No. 4. p. 113-121. (in Russian)
51. Yavtushenko V.E., Makarov N.B. Loss of organic matter and plant nutrients from soil due to water erosion, *Agrokhimia*, 1996, No. 4, p. 117-123. (in Russian)
52. Yakimenko V.N. Consumption of potassium and magnesium by potatoes and change their content in soil of the field experiment, *Plodorodie*, 2018, No. 5(104), p. 19-22. doi: [10.25680/S19948603.2018.104.06](https://doi.org/10.25680/S19948603.2018.104.06) (in Russian)
53. Yakimenko V.N. Change of potassium and magnesium content in soil profile of long-term field experiment, *Agrokhimia*, 2019, No. 3, p. 19-29. doi: [10.1134/S0002188119030153](https://doi.org/10.1134/S0002188119030153) (in Russian)
54. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. The main nutritious regimes and plant production on the eroded soils in the south of West Siberia, *Agrochemistry and ecology problems*, 2011. No. 1. p. 16-22. (in Russian)
55. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Fertility of soils on slope, yield structure and quality of spring wheat in the south of Western Siberia, *The Journal of Soils and Environment*, 2018, No.1(3), p. 126-142. doi: [10.31251/pos.v1i3.37](https://doi.org/10.31251/pos.v1i3.37) (in Russian with English abstract)
56. Yahyaev M.A., Salikhov Sh.K., Abdulkadyrova S.O., Aselderova A.Sh., Surkhayeva Z.Z., Kazanbiyeva P.D., Ibragimova E.I., Alieva D.Z., Adilova M.A., Abusueva B.A., Abusueva Z.S. Contents of magnesium in the environment and population morbidity rate of arterial hypertension, *Hygiene and sanitation*, 2019. T. 98. No. 5. p. 494-497. doi: [10.18821/0016-9900-2019-98-5-494-497](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-494-497) (in Russian)
57. Bezuglova O.S. Soil and human health, *Science Almanac of Black Sea Region Countries*, 2017, No. 2(10). p. 68-73. doi: [10.23947/2414-1143-2017-10-2-68-73](https://doi.org/10.23947/2414-1143-2017-10-2-68-73) (in Russian)
58. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.K., Khabirov I.K., Fruehauf M., Liebelt P. Temporal changes of eroded soils depending on their agricultural use in the southern Cis-Ural region, *Eurasian Soil Science*, 2016, T. 49, No. 10, p. 1204-1210. doi: [10.1134/S1064229316100070](https://doi.org/10.1134/S1064229316100070)
59. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. The methods of geomorphometry and digital soil mapping for assessing spatial variability in the properties of agrogray soils on a slope, *Eurasian Soil Science*, 2017a, Vol. 50, No. 1, p. 20-29. doi: [10.1134/S1064229317010082](https://doi.org/10.1134/S1064229317010082)
60. Gopp N.V., Nechaeva T.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V., Smirnov V.V. Indicative capacity of NDVI in predictive mapping of the properties of plow horizons of soils on slopes in the south of Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2017b, Vol. 50, No. 11, p. 1331-1342. doi: [10.1134/S1064229317110060](https://doi.org/10.1134/S1064229317110060)
61. 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.
62. *Handbook of reference methods for plant analysis* / Edited by Yash P. Kalra. Boca Raton, Boston, London, New York, Washington: CRC Press, 1998. 287 p.
63. Jakovljević Miodrag D., Kostić Nikola M., Antić-Mladenović Svetlana B. The availability of base elements (Ca, Mg, Na, K) in some important soil types in Serbia, *Зборник Матице српске за природне науке / Proceedings for Natural Sciences, Matica Srpska Novi Sad*, 2003, No. 104, p. 11-21. doi: [10.2298/ZMSPN0304011J](https://doi.org/10.2298/ZMSPN0304011J)
64. Lai R. *Sustainable development and management of land and water resources* // FAO Netherlands conference on agriculture and the environment, Hertogenbosch. Background docum. No 1. Rome, 1991. 22 p.
65. Mikkelsen R. Soil and Fertilizer Magnesium, *Better Crops*, 2010, Vol. 94, No. 2.
66. Marschner H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. London, 2011. 672 p.
67. Shiwakoti S., Zheljzakov V.D., Gollany H.T., Kleber M. and Xing B. Macronutrients in soil and wheat as affected by a long-term tillage and nitrogen fertilization in winter wheat–fallow rotation, *Agronomy*, 2019, 9, 178. doi: [10.3390/agronomy9040178](https://doi.org/10.3390/agronomy9040178)
68. Tanol K., Kobayashi N.I. Leaf senescence by magnesium deficiency, *Plants*, 2015, No. 4(4). p. 756-772.
69. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Consequences of snowmelt erosion: Soil fertility, productivity and quality of wheat on GreyzemicPhaeozem in the south of West Siberia, *Agriculture, Ecosystem and Environment* (200), 2015, p. 88-93. doi: [10.1016/j.agee.2014.10.021](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.021)
70. Zebire D.A., Ayele T., Ayana M. Characterizing soils and the enduring nature of land uses around the Lake Chamo Basin in South-West Ethiopia, *Journal of Ecology and Environment*, 2019, 43:15. doi: [10.1186/s41610-019-0104-9](https://doi.org/10.1186/s41610-019-0104-9)

Received 13 December 2019

Accepted 19 December 2019

Published 30 December 2019

About the authors:

Nechaeva Taisia V. - Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); nechaeva@issa-siberia.ru

Gopp Natalya V. - Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gopp@issa-siberia.ru

Savenkov Oleg A. - Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Agrochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); savenkov@issa-siberia.ru

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

The authors read and approved the final manuscript



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



ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЛЕСНЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2020 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@issa-siberia.ru

В работе представлены результаты годового теплооборота в почвах основных типов леса центральной части северотаёжной подзоны Западной Сибири. Описан общий ход температур на разной глубине, выявлены особенности температурного режима лесных почв. Выявлены особенности формирования теплового режима почв дренируемых поверхностей и пойм местных рек в сравнении со сходными условиями северной части подзоны. Приведены величины теплообеспеченности, теплообмена и теплопроводности исследованных почв.

Ключевые слова: почва; температура; лес; северная тайга; Западная Сибирь

Цитирование: Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. Особенности температурного режима лесных почв северной тайги Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 4. е105. doi: 10.31251/pos.v2i4.105

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования теплового режима лесных почв северной тайги Западной Сибири связана как с техногенным влиянием интенсивной добычи нефти и газа на этой территории, так и проблемами глобальных климатических изменений (Дюкарев, 2015; Дюкарев, Головацкая, 2013). Данные метеостанций, в силу их однотипности, длительности и массовости, остаются единственной основой типизации почвенного климата. При этом исследования температурного режима таёжных почв в естественных условиях, в том числе в северной части северотаёжной подзоны, выявили значительное расхождение показателей теплооборота почв с показателями, используемыми в классификациях почвенного климата (Гончарова и др., 2015). Основная причина этих расхождений – значительное влияние растительного покрова на тепловой режим почв, которое не учитывается при измерениях на открытых участках метеостанций с сильно изменённым растительным покровом. В частности определено, что в тёплый период года ведущая роль в формировании теплового режима почв, кроме атмосферного климата, принадлежит растительному покрову, в основном свойствам мохово-лишайникового яруса и органогенной части почвы (Трофимова, 1984). В тёплый сезон температура почвы под пологом леса в целом ниже температуры почвы на открытом участке. Это влияние зависит и от характера напочвенного покрова (Галенко, 2013). Для почв лишайниковых типов среднетаёжных сосновых лесов Западной Сибири разница температуры почвы под пологом леса и на открытом участке составляет 1-2 °С, а часто отсутствует. В зеленомошных типах леса разница составляет от 0.5 в холодное время года, до 7°С и более – в тёплое. (Трофимова, 1985). Зимой ведущее влияние на тепловой режим почвы принадлежит снежному покрову (Дюкарев, 2015), свойства которого (мощность, плотность) в естественной среде и на площадке метеостанции могут существенно различаться. Наблюдения такого рода, несмотря на их актуальность, остаются немногочисленными.

Предметом наших исследований стали почвы основных типов леса центральной части северотаёжной подзоны Западной Сибири. Здесь лесные сообщества на дренированных местообитаниях представлены зональными тёмнохвойно-лиственничными кустарничково-зеленомошными лесами, которые на песчаных отложениях сменяются интразональными сосновыми лишайниковыми лесами (Ильина и др., 1985). Леса в долинах местных рек отличаются большим разнообразием, в основном распространены мелколиственно-тёмнохвойные кустарничково-травяные леса (Хозяинова, 2008). Исходными данными послужили измерения температуры почвы на разных глубинах в течение одного года, с июля 2016 по июнь 2017 г. Эти данные позволили дать самые общие характеристики теплового режима местных почв под основными типами леса, включая зональный тип почвы и растительности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в окрестностях г. Ноябрьска, ЯНАО, на трёх участках лесных биогеоценозов — в зональном тёмнохвойно-лиственничном кустарничково-лишайниково-зеленомошном лесу (75,0831 с.ш., 63,1595 в.д.) на глееподзолистой оторфованной почве (Смоленцев, 2002), в сосновом кустарничково-зеленомошно-лишайниковом лесу (75,4935 с.ш.,

63,2437 в.д.) на песчаном подзоле иллювиально-железистом, и в пойменном тёмнохвойно-берёзовом травяно-сфагновом лесу (75,1513 с.ш., 63,1615 в.д.) на аллювиальной серогумусовой глеевой почве в пойме р. Вэльхпеляк-Яха. Участки находились в одних климатических условиях, они отстояли по долготе не более чем на 20 км, а по широте – не более чем на 10 км. Район работ расположен в центральной части северотаёжной подзоны (Растительный покров... 1985).

Древостой зонального тёмнохвойно-лиственничного кустарничково-лишайниково-зеленомошного леса, полнотой 0.5, с составом 10Л+Е первого яруса, 6Б4К – второго. Кустарничковый ярус, с общим проективным покрытием 70 – 80 %, сложен в основном *Vaccinium uliginosum* со значительным участием *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea* и *Empetrum nigrum*. Моховой ярус сплошной, с очёсом 5 – 8 см, преимущественно из *Pleurozium schreberi*. Профиль глееподзолистой оторфованной почвы (индекс горизонта/мощность, см) — TO/11 – Elg/4 – ELBg/15 – B/20 – BC/50 – C~ на суглинистых отложениях. Состав древостоя соснового леса 10С, полнота 0.4. Кустарничковый ярус с общим проективным покрытием 20 – 40 % сложен в основном *Ledum palustre* с небольшим участием *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum* и *V. vitis-idaea*. В мохово-лишайниковом ярусе с проективным покрытием 100 %, доминируют *Cladonia stellaris* и *Cl. rangiferina*, покрытие зелёных мхов 5 %. Профиль подзола иллювиально-железистого O/2 – E/12 – Bf/20 – BC/25 – C~ на песчаных отложениях. Древостой пойменного леса, полнотой 0.5, сложен в основном берёзой со значительным участием ели и кедра. В кустарниковом ярусе, с общим проективным покрытием 20 %, доминируют ивы, *Duschekia fruticosa*, *Sorbus sibirica*, в травяном ярусе – *Calamagrostis langsdorffii* и болотные травы – *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, на повышенных элементах микрорельефа – таёжное мелкотравье. Мохово-лишайниковый ярус не сплошной, из разрозненных синузид *Sphagnum*, *Bryum* и *Mnium*. Поверхность сильно захлаплена валежником, пнями, что вообще характерно для местных долинных лесов (Хозяинова, Алексеева, 2007). Профиль аллювиальных серогумусовых глеевых почв AYg/30–G/45–CG~ (Классификация и диагностика..., 2004).

Для измерения температуры использовали программируемые автономные регистраторы температуры DS1921G (<http://www.elin.ru/Thermochron/?topic=descr>), установленные на глубинах 0 (под живым мохово-лишайниковым покровом), 10, 20, 50 и 100 см, и регистрировавшие температуру с точностью 0.5 °С каждые 4 часа — в сроки 1, 5, 9, 13, 17 и 21 ч по местному административному времени, которое незначительно, на 5 минут отличается от местного астрономического времени. Наблюдения проводили с 1 июля 2016 по 30 июня 2017 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 помещали в контрастные температурные условия, полученные измерения использовали для определения поправочных коэффициентов каждого датчика.

Срочные измерения температуры почв использовали для обобщённых характеристик температурного режима, среднедекадные значения – для построения термоизоплет годового хода температур. Коэффициенты теплопроводности (Шейн, Карпачевский, 2007) рассчитывали как среднеарифметическое посуточных значений для слоя 0–20 см, где наблюдались суточные колебания температуры, в основном в тёплый период. Общая теплообеспеченность почв характеризовали величинами сумм температур разных диапазонов, связанных с биологической активностью почвенной биоты и напочвенного покрова. Для характеристики тепловых свойств использовали отношения сумм температур к соответствующим суммам температур воздуха, которые рассматриваются как важнейшие. В частности, рассматриваются как N-факторы, положительный — отношение суммы положительных температур поверхности почвы и воздуха, и отрицательный — отношение сумм отрицательных температур поверхности почвы и воздуха (Lunardini, 1978). Для характеристики биологически значимого прогревания использовали величину прогреваемости по В.Н. Димо, (1972) — отношения суммы активных температур больше 10°C почвы на глубине 20 см и воздуха.

Для характеристики местных климатических условий были привлечены данные по метеостанции г. Ноябрьска с сайта <https://rp5.ru/>.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдений, из-за сравнительно холодной зимы среднегодовая температура воздуха составила -3,7 °С, что оказалось намного ниже среднегодовой -2,3°C и ниже среднегодовой температуры воздуха для Западносибирской провинции Северо-таёжной подзоны глеево-подзолистых почв -1,9°C (Димо, 1972). В декабре и январе среднесуточная температура

воздуха опускалась ниже -30°C , а в конце декабря, в отдельные дни — ниже -50°C . Первые заморозки наблюдались уже в конце августа, последние — в начале июня. Наиболее тёплая погода была в середине июля и в отдельные дни конца июня, когда воздух прогревался выше 29°C . Наибольшие суточные колебания температуры воздуха, до $15-20^{\circ}\text{C}$ характерны для зимнего периода. 19 января 2017 года отмечена суточная смена температуры воздуха — $36,4^{\circ}\text{C}$. В летний период суточные колебания температуры обычно не превышали $10-15^{\circ}\text{C}$. Годовая сумма температур воздуха выше 0°C составила $+1864^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, выше 5°C — $+1802^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, выше 10°C — $+1681^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, отрицательных температур — $-3219^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$ Снежный покров начал формироваться в середине октября. Максимальной мощности в 58 см он достиг в первой декаде марта, а к третьей декаде мая полностью сошёл.

Среднегодовые температуры профиля зональной глееподзолистой почвы (табл. 1) на $1-1,5^{\circ}\text{C}$ выше среднегодовой температуры, приведённой для подзола глееватого супесчаного под сосновым зеленомошным лесом, который расположен примерно на 2 градуса севернее, в северной части северотаёжной подзоны, в бассейне р. Левая Хетта (Гончарова и др., 2015). В окрестностях Надьма среднегодовые температуры подзола и торфяно-глеезёма на поверхности и на глубине 20 см ещё ниже, на $1,5-2^{\circ}\text{C}$ (Комплексный мониторинг..., 2012). Весь профиль исследованных почв до глубины 1 м испытывал годовые колебания температуры, размах которых снижался с глубиной. Наибольшие годовые колебания температуры характерны для подзола и в меньшей степени — для аллювиальной серогумусовой почвы. Наибольшее варьирование температур наблюдалось в профиле подзола, который прогревался и промерзал на большую глубину, но при этом на глубине 1 м весь год оставался талым. Наименьшее варьирование температур отмечено в глееподзолистой почве. Здесь отрицательные температуры зафиксированы только на поверхности почвы, а глубже 10 см в профиле наблюдались только температуры 0°C и выше. Сравнительно глубокое промерзание характерно для профиля аллювиальной серогумусовой почвы, но ниже 50 см она весь год оставалась талой. Самый верхний 10 см слой отличается значительным годовым варьированием температуры.

Таблица 1

Общие годовые характеристики температурного режима почв, $t^{\circ}\text{C}$

Глубина, см	Глее-подзолистая оторфованная почва				Подзол иллювиально-железистый				Аллювиальная серогумусовая глеевая почва			
	Средн.	Мин.	Макс.	$K_{\text{вар}}^1$	Средн.	Мин.	Макс.	$K_{\text{вар}}$	Средн.	Мин.	Макс.	$K_{\text{вар}}$
0	3,1	-3,5	17,5	11,3	4,6	-4,0	32,5	16,9	1,8	-15,0	25,0	17,5
10	3,7	0,0	14,5	9,9	4,3	-1,5	21,5	13,7	2,2	-6,5	17,0	12,1
20	3,0	0,0	12,0	8,8	3,9	-1,0	20,0	13,5	2,3	-2,0	13,5	8,7
50	3,3	0,5	10,0	7,1	3,6	-0,5	14,5	11,2	2,5	0,0	10,5	7,0
100	3,7	1,0	8,5	5,3	3,7	0,5	11,5	8,8	2,2	0,0	8,0	5,9

В целом годовой ход температуры исследованных почв следует за изменениями температуры воздуха (рис. 1), что особенно хорошо выражено в бесснежный период. Наибольший прогрев поверхности почвы во всех случаях наблюдался в июле и первой половине августа, с увеличением глубины прогревание и охлаждение почвы запаздывало на несколько дней.

Сезонные изменения температуры почвы наиболее плавные в глееподзолистой почве, под листовничным кустарничково-лишайниково-зеленомошным лесом. В июле и августе поверхность почвы прогревается до $11-14^{\circ}\text{C}$, а в отдельные дни больше 15°C . В корнеобитаемом слое, до 20 см, почва в почти всё время была теплее 10°C . Ниже наибольший прогрев почвы наблюдается только в первой декаде августа, больше 9°C на глубине 50 см, и больше 8°C на глубине 1 м. Охлаждение поверхности почвы ниже 0°C наблюдалось только в начале ноября, с наступлением стабильно морозной погоды, с температурой воздуха ниже -20°C . При этом почва промерзала только с поверхности, на глубине 10 см почва оставалась талой в течение всей зимы, хотя и близкой к точке замерзания. В апреле вся 1 м толща имела почти одну температуру, от 0 до $1,5^{\circ}\text{C}$, хотя среднесуточная температура воздуха ещё была отрицательной.

¹ $K_{\text{вар}}$ - коэффициент варьирования среднесуточных температур.

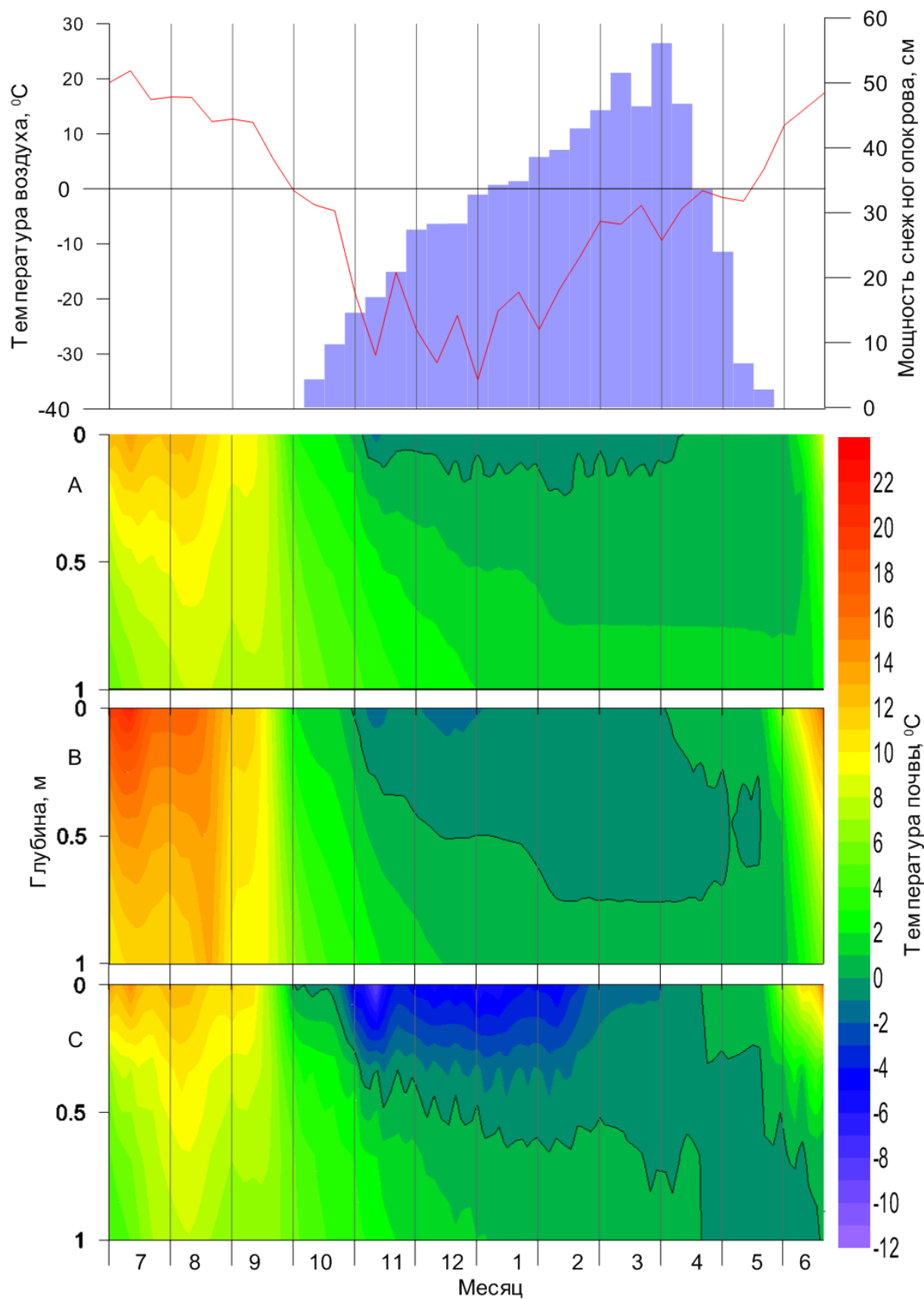


Рисунок 1. Ход среднедекадной температуры воздуха и мощности снежного покрова и термоизоплеты годового хода температур в почвах: А — глееподзолистой, В — подзоле иллювиально-железистом, С — аллювиальной серогумусовой.

Поверхность подзола под сосновым кустарничково-лишайниковым лесом также наиболее сильно прогревалась в июле и августе. При этом среднесуточная температура почвы повышалась

до 20-23°C, часто превышая температуру воздуха, что можно объяснить прямым нагревом поверхности солнечными лучами. Со второй декады июля до конца августа весь почвенный профиль подзола прогревался до 10°C и больше, а в течение сентября постепенно остывала только нижняя часть профиля. Так же, как и в случае с глееподзолистой почвой, поверхность начинала замерзать в начале ноября, с установлением устойчивых морозов. Верхняя часть профиля подзола к середине ноября промерзала до глубины 20 см, а к началу февраля — до 50 см. С начала марта начинал оттаивать верхний, 10 см слой почвы, но мёрзлый слой, с 20 см, оттаивал только в середине апреля, а на глубине 50 см сезонная мерзлота исчезла только в середине мая. На глубине 1 м профиль подзола весь год оставался талым.

Тепловой режим аллювиальной серогумусовой глеевой почвы отличался наибольшими сезонными колебаниями температуры в верхней части профиля. Уже при первых ночных заморозках в третьей декаде сентября в ночное время температура поверхности почвы опускалась ниже 0°C, до -2°C, и с октября почти всё время оставалась мёрзлой. В ноябре, с наступлением сильных морозов и при неглубоком снежном покрове в 15-20 см, температура поверхности почвы опускалась до -12...-15°C. Отрицательные температуры в это время фиксировались до глубины 20 см. В дальнейшем, с увеличением мощности снежного покрова температура поверхности почвы оставалась -5...-7°C, редко опускаясь до -10°C. При этом слой почвы, по крайней мере до 20 см, оставался мёрзлым до середины апреля. С этого времени и почти до конца мая в 1 м толще почвы сохранялась температура 0°C. В начале июня почва существенно прогревалась с поверхности, и в конце июля во всей толще наблюдались положительные температуры. В наиболее тёплые дни в конце июля на поверхности почвы фиксировались температуры до 23°C. Примечательно, что в июле и августе, даже в очень тёплые дни, температура поверхности почвы оказывалась значительно прохладнее, около 15-18°C, и не более 20°C.

По В.Н. Димо (1972) район исследования находится в зоне среднегодовой температуры почвы на глубине 20 см в диапазоне 0-4°C для открытых участков метеостанций, с чем согласуются и наши наблюдения по всем исследованным почвам. Однако район работ, при этом, расположен вблизи северной границы этой зоны, около изотермы 0°C, а среднегодовые температуры исследованных почв ближе к верхней границе зонального диапазона. Температуры самого тёплого и самого холодного месяца выявляют значительно большие различия с зональными характеристиками.

По среднемесячной температуре почвы на глубине 20 см самого тёплого месяца зональная глееподзолистая почва (+10,4°C, август) относится к холодному типу климата (Национальный атлас..., 2011). По этому показателю она значительно ниже величины, предложенной для умеренно холодного почвенного климата подзоны северной тайги Западной Сибири (+14,2°C, при диапазоне 16,6-11,4°C) по данным метеостанций на открытых участках (Трофимова, Балыбина, 2015). Аллювиальная серогумусовая (+9,7°C, август) почва, так же оказалась значительно холоднее. Показатель для подзола (+16,3°C, июль) хотя и был несколько выше предлагаемого для северной тайги, но укладывался в возможный диапазон. Среднемесячная температура самого холодного месяца на глубине 20 см всех исследованных почв оказалась вблизи 0°C или чуть ниже, -0,6°C — для аллювиальной серогумусовой почвы, что намного выше этого показателя в предложенной классификации для всех природных зон, в том числе и для северотаёжной подзоны (-3,6°C). По среднегодовой амплитуде температур на глубине 20 см глееподзолистую (13°C) и аллювиальную серогумусовую (9,7°C) климат почвы можно отнести к умеренно континентальному типу, а подзол по среднегодовой амплитуде (21°C) соответствует повышенно континентальному климату.

Эти расхождения с показателями по метеостанциям связаны с различиями температурного режима почв на открытых участках и участках под естественной растительностью. В общем виде они заключаются в меньшем диапазоне колебания температуры почвы под естественной растительностью по сравнению с открытыми участками: летом — со снижением температуры почвы, а зимой — с повышением (Гончарова и др., 2015).

В одних климатических условиях, кроме определяющего влияния атмосферного воздуха, температурный режим лесных почв зависит от свойств теплопроводности отложений, в летнее время — от свойств растительного покрова, в зимнее — от влияния снежного покрова (Гончарова и др., 2015; Корнатов и др. 2018).

В лиственный лишайниково-зеленомошном лесу хорошо развитый и сравнительно мощный ярус зелёных мхов и кустарничков препятствует теплообмену между атмосферой и почвой, а сравнительно сомкнутый древесный ярус препятствует прямому нагреву поверхности солнечной радиацией, из-за чего в начале тёплого сезона почва нагревается очень медленно. Температурная

инертность глееподзолистых почв может быть связана и с большей теплоёмкостью суглинистых отложений по сравнению с отложениями более лёгкого механического состава (Димо, 1072). Коэффициент температуропроводности верхнего 20 см слоя глееподзолистой почвы оказался сравнительно низким — $20,2 \pm 1,9$, что также препятствует большим колебаниям температуры на всех глубинах. Как показывает годовой ход температуры, глееподзолистая почва отличается наибольшей инертностью теплового режима. В середине июня разница среднесуточных температур приземного слоя атмосферы и минеральной поверхности почвы здесь составляла $5-10^\circ\text{C}$, а отдельные дни $15-18^\circ\text{C}$. В середине июня температурный градиент в верхнем слое, до глубины 20 см, только в отдельные дни превышал $0,2^\circ\text{C}/\text{см}$. В июле наиболее интенсивный прогрев почвы наблюдался ниже 20 см, но температурные градиенты при этом не превышали $0,28^\circ\text{C}/\text{см}$. Охлаждение поверхности почвы, наиболее интенсивное в начале октября, также происходило медленно. Отрицательные градиенты в верхнем 10 см слое в это время не редко превышали $-0,2^\circ\text{C}/\text{см}$, а в течение зимы, на большей глубине не превышали $-0,15^\circ\text{C}/\text{см}$. Ниже 50 см весь холодный период сохранялся небольшой отрицательный градиент, около $-0,01^\circ\text{C}/\text{см}$.

В сосновом кустарничково-лишайниковом лесу напочвенный покров в меньшей степени препятствует теплообмену между приземным слоем атмосферы и почвой. Глубокому прогреву профиля подзола способствовала и сравнительно высокая теплопроводность песчаных отложений. Коэффициент температуропроводности верхнего 20 см слоя подзола оказался наибольшим из исследованных почв, $45,0 \pm 6,6$, и достоверно отличался от коэффициентов двух других типов (при $p < 0,01$). В первых числах июля, с началом интенсивного прогрева, разница среднесуточных температур воздуха и поверхности подзола часто была близкой к 0°C , или составляла несколько градусов, в отдельные дни — до 8°C . При этом, в некоторые сравнительно прохладные дни поверхность почвы могла быть на $1-2^\circ\text{C}$ теплее воздуха. Такое превышение температуры минеральной поверхности подзола над температурой воздуха наблюдалась почти в течение всего тёплого периода, что может быть связано только с прямым нагревом поверхности солнечными лучами, чему способствует разреженный полог редкостойного соснового леса. В июне, в начале интенсивного прогрева почвы, в верхних слоях, особенно в верхнем 10 см слое, температурные градиенты составляли $0,2-0,4^\circ\text{C}$, в отдельные дни в начале июля — до $0,8^\circ\text{C}$. Уже в середине июня такие температурные градиенты смещались в нижние слои, до глубины 1 м, и наблюдались в течение всего лета. С установлением стабильно морозной погоды во всём профиле подзола устанавливались отрицательные градиенты, особенно интенсивные, около $-0,15^\circ\text{C}/\text{см}$, в верхнем 10 см слое в начале зимнего сезона, и в нижних слоях — первой половине зимнего периода.

С установлением стабильно тёплой погоды прогревание верхнего слоя серогумусовой почвы под темнохвойно-берёзовым травяно-сфагновым лесом очень интенсивное. Разница температуры воздуха и минеральной поверхности почвы даже в начале июня не превышала 5°C . В это время в верхнем 20 см слое наблюдались большие температурные градиенты — $0,4-0,7^\circ\text{C}/\text{см}$, а в отдельные дни в 10 см слое превышали $1^\circ\text{C}/\text{см}$, что может быть связано со сравнительно низкой теплопроводностью аллювиальных отложений. Коэффициент температуропроводности верхнего 20 см слоя ($24,2 \pm 2,4$) статистически не отличается от коэффициента для глееподзолистой почвы ($p=0,192$). В конце июня такие градиенты наблюдались уже на глубине до 50 см, а в июле — до 1 м. С наступлением стабильных морозов в верхнем слое до глубины 50 см наблюдались слабые отрицательные градиенты, около $-0,15 \dots -0,25^\circ\text{C}/\text{см}$, и только в ноябре, с установлением сравнительно мощного снежного покрова, они возрастали до $-0,4 \dots -0,8^\circ\text{C}/\text{см}$. На быстрое охлаждение почвы в начале зимнего периода оказывает влияние развитый микрорельеф и захламлённость поверхности древесными остатками, которые способствуют образованию локальных коридоров холода, и в целом снижают свойства теплоизоляции снежного покрова при его небольшой мощности. Кроме этих особенностей, в нижнем слое 0,5-1 м, периодически наблюдались резкие изменения температурных градиентов, что, вероятно, связано с влиянием изменения уровня речных вод. С влиянием реки, а именно — с весенним паводком, связан и длительный изотермальный период, нулевая завеса (Геокриология СССР, 1988), наблюдающийся со середины апреля до конца мая, когда практически во всём профиле наблюдается температура около 0°C , а температурные градиенты отсутствуют.

В целом, в холодное время года формирование даже небольшого, но сплошного и ровного снежного покрова препятствует интенсивному охлаждению поверхности исследованных почв, что отмечалось и ранее (Трофимова, Балыбина, 2015), хотя из-за хорошей теплопроводности лёгких отложений отрицательные температуры в начале холодного периода проникают по крайней мере

до глубина 50 см профиля подзола. Из исследованных почв зональные глееподзолистые почвы - наиболее инертны. Это связано и с хорошими теплоизоляционными свойствами сплошного мохового покрова, и со сравнительно низкими теплопроводными свойствами суглинистых отложений. Наибольший размах температур всего профиля и их варьирование в течение года свойственны подзолам. Хорошему прогреву поверхности подзолов в летнее время способствуют низкие теплоизоляционные свойства лишайникового яруса. Температурный режим аллювиальной серогумусовой почвы отличается некоторой спецификой. Глубокому проникновению отрицательных температур в начале зимнего периода препятствует близость речных вод, обеспечивающих в течение всей зимы температуру нижних слоёв почвы около 0°C. В период весеннего паводка это влияние выравнивает температуру всего профиля почвы.

Подзолы отличаются наибольшей теплообеспеченностью по сравнению с другими исследованными почвами (рис. 2).

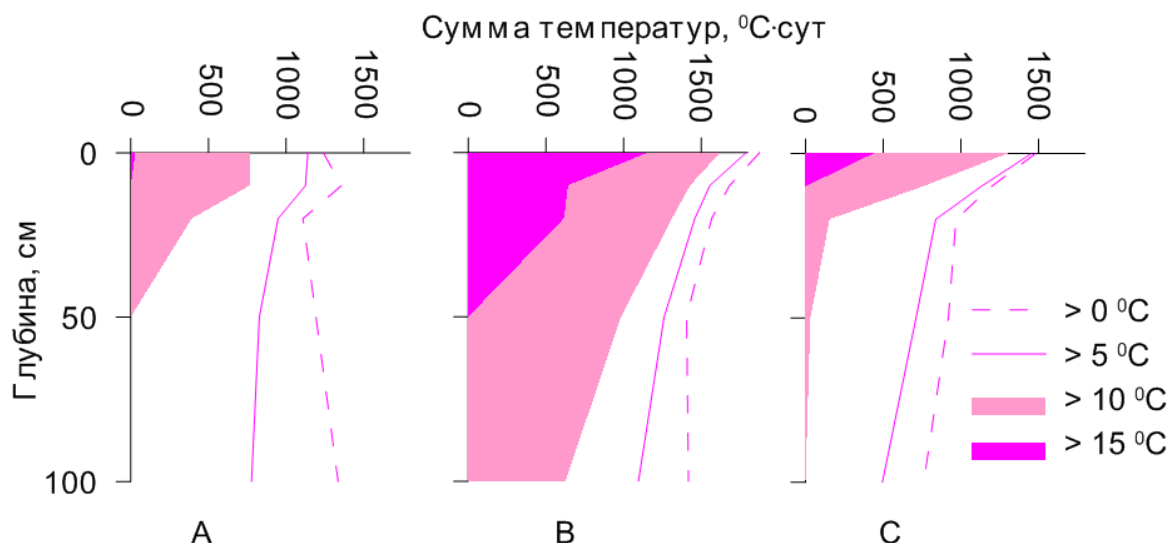


Рисунок 2. Суммы температур в почвах: А — глееподзолистой, В — подзоле иллювиально-железистом, С — аллювиальной серогумусовой.

Несмотря на значительное промерзание профиля подзолов, всему профилю свойственны высокие значения годовых сумм среднесуточных биологически активных температур выше 10°C. По сумме среднесуточных температур больше 10°C на глубине 20 см (1299°C·сут.) подзолы можно отнести к холодному/умеренно холодному типу почвенного климата (Национальный атлас..., 2011). Биологически активные температуры выше 10°C в глееподзолистой почве наблюдаются только выше 50 см, а температуры выше 15°C — только на поверхности почвы. По сумме температур выше 10°C на глубине 20 см (393 °C·сут.) климат глееподзолистой почвы можно отнести к ультрахолодному/холодному. Теплообеспеченность верхнего 10 см слоя аллювиальной серогумусовой почвы почти такая же, как и глееподзолистой почвы, но на глубине 20 см существенно ниже. Сумма биологически активных температур выше 10°C на этой глубине составляет 143°C·сут., что так же позволяет отнести климат этих почв к ультрахолодному/холодному. Сумма положительных температур в профиле глееподзолистой почвы при этом сходна с приведённой для подзола, расположенного у северной границы северной тайги (Гончарова и др., 2015).

На очень затруднённый теплообмен между воздухом и глееподзолистой почвой в летнее время указывает величина положительного N-фактора, зависящего от теплоизоляционных свойств напочвенного покрова (табл. 2). Теплообеспеченность почвы по сумме температур больше 10°C на глубине 20 см оказалась меньше величины теплообеспеченности 400 — 800°C·сут., которая приводится для северо-таёжной подзоны глеево-подзолистых почв Западносибирской провинции бореального пояса по данным метеостанций (Димо, 1972).

Таблица 2

Отношение сумм температур почвы к суммам температур воздуха

Почвы	Глее-подзолистая				Подзол				Аллювиальная серо-гумусовая			
	<0	>0	>5	>10	<0	>0	>5	>10	<0	>0	>5	>10
Суммы температур, °С												
0 см	0,04²	0,67³	0,63	0,45	0,04	1,00	0,99	0,96	0,26	0,79	0,80	0,77
10 см	0,00	0,73	0,62	0,46	0,01	0,90	0,86	0,84	0,12	0,64	0,62	0,44
20 см	0,00	0,59	0,53	0,23⁴	0,03	0,83	0,80	0,77	0,04	0,52	0,46	0,08
50 см	0,00	0,64	0,46	0,00	0,01	0,74	0,69	0,57	0,00	0,49	0,39	0,01
100 см	0,00	0,72	0,43	0,00	0,00	0,75	0,60	0,36	0,00	0,47	0,31	0,00

Отрицательный N-фактор для глееподзолистых почв и подзолов оказался чрезвычайно низким, что свидетельствует о сильном обогревающем влиянии снежного покрова в зимний период. Влияние напочвенного покрова и снега на тепловой режим исследованной глееподзолистой почвы сильнее, чем влияние снега на режим сходных почв северной части среднетаёжной подзоны. Для подзола глееватого в Надымском районе ЯНАО значения положительного N-фактора — 0,87- 0,78, отрицательного — 0,19 (Гончарова и др., 2015).

Теплообмен воздуха с поверхностью подзола и аллювиальной серогумусовой почвы в тёплое время года несколько интенсивнее теплообмена с поверхностью глееподзолистой почвы, что связано с низкой теплопроводностью мохового оёса и слабо разложившейся подстилки (Гончарова и др., 2015). Обогревающее влияние снега в пойме заметно хуже, что, как уже отмечалось, связано с низкими теплоизолирующими свойствами снежного покрова в начале зимнего периода.

Биологически значимый показатель прогреваемости глееподзолистых почв оказался значительно ниже приводимого для подзоны по данным метеостанций — 0,85. Показатель прогреваемости подзола также оказался ниже приведённого для подзоны, хотя и выше показателя для глееподзолистой почвы. Чрезвычайно низкий показатель прогреваемости аллювиальной серогумусовой почвы связан, вероятно, не столько с затруднённым теплообменом атмосферы с поверхностью почвы, сколько с охлаждающим влиянием реки на нижние горизонты аллювиальной почвы. Следует отметить, что для естественной лесной растительности значим прогрев почвы уже до 5 °С, и на меньшую глубину. Коэффициенты прогреваемости по суммам температур выше 5°С на глубине 10 см сходны для аллювиальной серогумусовой и глееподзолистой почвы и сравнительно высоки.

ВЫВОДЫ

1. Исследованные почвы дренированных местообитаний под естественной лесной растительностью в течение года испытывают меньшие колебания температур по сравнению с почвами на открытых участках на метеостанциях, по данным которых проводится районирование почвенного климата. По среднемесячной температуре самого тёплого месяца местные лесные почвы холоднее, а самого холодного – теплее почв открытых участков.

2. Среднегодовые температуры зональной исследованной глееподзолистой почвы вблизи южной граница северотаёжной подзоны на 1-2°С теплее сходных почв, расположенных в этой же подзоне на 2 градуса севернее.

3. В летнее время тепловой режим почв определяется теплоизолирующими свойствами напочвенного покрова. Наибольшее влияние на теплообмен поверхности исследованных лесных почв и воздуха оказывает оёс зелёных мхов и подстилка, в меньшей степени – сплошной покров кустистых лишайников.

4. Сравнительно быстрому прогреванию и охлаждению профиля подзола способствует лучшая теплопроводность песчаных отложений по сравнению с суглинистыми отложениями глееподзолистой и аллювиальной серогумусовой почвы.

5. В зимнее время глубокому промерзанию почв препятствует снежный покров, обогревающий эффект которого оказался выше, чем в лесных почвах северной части северотаёжной подзоны.

² Отрицательный N-фактор

³ Положительный N-фактор

⁴ Прогреваемость

Выраженный биогенный микрорельеф в пойменном лесу в начале зимнего периода препятствует формированию сплошного снежного покрова, что снижает его теплоизолирующие свойства.

б. Тепловой режим пойменных почв в значительной степени определяется близостью речных вод, которые оказывают в летнее время охлаждающее, а в зимнее время – обогревающее влияние на почвенный профиль, а в межсезонье продлевают нулевую завесу — изотермальный период с температурами, близкими к 0 °С.

ФИНАСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Галенко Э.П.](#) Формирование теплового режима почв хвойных экосистем бореальной зоны в зависимости от лесобразующей породы и типа леса // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2013. Выпуск 1(13). С. 32-37.
2. Геокриология СССР. Европейская территория СССР. М.: Недра, 1988. 358 с.
3. [Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Бобрик А.А., Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е.](#) Температурные режимы северотаежных почв Западной Сибири в условиях островного распространения многолетнемерзлых пород // *Почвоведение*. 2015. №12. С. 1462–1473. doi: [10.7868/S0032180X15100032](#)
4. Димо В.Н. *Тепловой режим почв СССР*. М.: Колос, 1972. 360 с.
5. [Дюкарев Е. А., Головацкая Е. А.](#) Особенности температурного режима торфяной залежи олиготрофного болота в южной тайге Западной Сибири // *География и природные ресурсы*. 2013. № 1. С. 65–71.
6. [Дюкарев Е.А.](#) Влияние температуры воздуха и снежного покрова на характеристики сезонномёрзлого слоя почвогрунтов // *Криосфера Земли*. 2015. Т. XIX. №3. С. 45–51.
7. Ильина И.С., Лапшина Е.И., Лавренко Н.Н. и др. *Растительный покров Западно-Сибирской равнины*. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.
8. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
9. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 207 с.
10. [Коронатова Н.Г., Мироничева-Токарева Н.П., Соломин Я.Р.](#) Температурный режим торфяной залежи бугров и топей плоскобугристых болотных комплексов Западной Сибири // *Криосфера Земли*. 2018. Т. XXII. № 6. С. 16-25. doi: [10.21782/KZ1560-7496-2018-6\(16-25\)](#)
11. *Национальный атлас почв Российской Федерации*. М.: Астель, 2011. 632 с.
12. Смоленцев Б.А. *Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северо-таежная подзона Западной Сибири)*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 118 с.
13. [Трофимова И.Е.](#) Сезонная ритмика термических процессов в почвах западно-сибирских сосновых сообществ // *География и природные ресурсы*. 1985. №3. С. 66-73.
14. [Трофимова И.Е.](#) Термический режим почвогрунтов в западносибирских среднетаежных геосистемах водораздельного типа // *География и природные ресурсы*. 1984. №2. С. 62-69.
15. [Трофимова И.Е., Балыбина А.С.](#) Районирование Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почв // *География и природные ресурсы*. 2015. № 3. С.27–38.
16. [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.
17. [Хозяинова Н.В., Алексеева Н.А.](#) Флора и растительность бассейна Р. Вэнгайха (Тюменская область) // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2007. №6. С.158-164.
18. Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. *Теории и методы физики почв*. М.: Изд. "Гриф и К", 2007. С.97-103.
19. [Lunardini V.](#) Theory of n-factors and correlation of data // *Proc. of the 3rd Intern. Conf. on Permafrost (Edmonton, Alberta, July 10–13, 1978)*. Ottawa, Ontario: Natl. Res. Council of Canada, 1978, V.1. P. 40–46.

Поступила в редакцию 17.02.2020;

Принята 24.03.2020

Опубликована 27.03.2020

Сведения об авторах:

Махатков Игорь Дмитриевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); makhatkov@issa-siberia.ru

Ермолов Юрий Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); ermolov@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

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

© 2020 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: nechaeva@issa-siberia.ru

The article presents the results of annual heat dynamics in the soils of the main forest types in the central part of the northern taiga subzone of West Siberia. The general patterns of temperature dynamics at different depths are described, and the features of the forest soils temperature regimes revealed. The characteristic features of soil temperature regimes of drained areas and small rivers' floodplains were compared with similar sites in the northern part of the subzone. The values of heat supply, heat transfer and temperature and thermal conductivity of the studied soils are discussed.

Key words: soil; temperature; forest; northern taiga; West Siberia

How to cite: Makhatkov I.D., Ermolov Y.V. Spatial Variation of the root zone layer temperature in the northern taiga of West Siberia // *The Journal of Soils and Environment*. 2019. 2(4). e105. doi: [10.31251/pos.v2i4.105](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.105) (in Russian with an English abstract).

REFERENCES

1. Galenko E.P. Thermal regime formation of soils in coniferous ecosystems of boreal zone in reference to dominating tree species and forest type, *Proc. of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences*, 2013, No1(13), p.32–37. (in Russian)
2. *Geocryology of the USSR*. European Territory of the USSR. Moscow: Nedra, 1988, 358 p. (in Russian)
3. Goncharova O.Y., Matyshak G.V., Bobrik A.A., Moskalenko N.G., Ponomareva O.E. Temperature regimes of northern taiga soils in the isolated permafrost zone of Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2015, Vol. 48, No12, p.1329–1340. doi: [10.1134/S1064229315100038](https://doi.org/10.1134/S1064229315100038)
4. Dimo V.N. *Thermal regime of soil of the USSR*. Moscow: Kolos, 1972. 360 p. (in Russian)
5. Dyukarev E.A., Golovatskaya E.A. Temperature regime characteristics of the peat accumulation of the oligotrophic bog in the southern taiga of Western Siberia, *Geography and Natural Resources*, 2013, No.1, p.65–71. (in Russian)
6. Dyukarev E.A. Influence of air temperature and snow cover on characteristics of seasonally frozen soil layer, *Kriosfera Zemli*, 2015, Vol XIX, No3, p.45–51. (in Russian)
7. Integrated monitoring of northern taiga geosystems of Western Siberia. Novosibirsk: Geo, 2012. 207 p. (in Russian)
8. *Soil classification and diagnostic of Russia* / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian)
9. Koronatova N.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Solomin Ya.R. Thermal regime of peat deposits of palsas and hollows of peat plateaus in Western Siberia, *Kriosfera Zemli*, 2018, Vol.XXII, No.6, p.15–23. doi: [10.21782/EC2541-9994-2018-6\(15-23\)](https://doi.org/10.21782/EC2541-9994-2018-6(15-23)) (in Russian)
10. *Soil Atlas of the Russian Federation*. Moscow: Astel, 2011, 632 p. (in Russian)
11. Ilyina I.S., Lapshina E.N., Lavrenko N.N. et al. The vegetation cover of the West Siberian Plain. Novosibirsk: Nauka, 1985. 252 p. (in Russian)
12. 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)
13. Trofimova I.E. Seasonal rhythm of thermal processes in the soils of West Siberian pine communities, *Geography and Natural Resources*, 1985, No3, p 66–73 p. (in Russian)

14. Trofimova I.E. Thermal regime of soil in the West Siberian taiga geo-systems of the watershed type, *Geography and Natural Resources*, 1984, No 2, p.62–69 p. (in Russian)
15. Trofimova I.E., Balybina A.S. Regionalization of the West Siberian plain from thermal regime of soils, *Geography and Natural Resources*, 2015, No. 3, p. 27–38. (in Russian)
16. Khozyainova N. V. Flora and vegetation of north taiga in the Pur dtstrict, Tyumen oblast (West Siberian north), *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya* [Bulletin of Ecology, Forest and Landscape], 2008, No. 8, p. 27-42. (in Russian)
17. Khozyainova N.V., Alexseeva N.A. Flora and vegetation of river Vengayakha basin (Tyumen region), *Vestnik Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology*, 2007, No. 6, p. 158-165. (in Russian)
18. Shein E.V., Karpachevsky L.O. *Theories and methods of soil physics*. Moscow: Grif and K Publ., 2007, p. 97-103. (in Russian)
19. Lunardini V. Theory of n-factors and correlation of data. In book: *Proc. of the 3rd Intern. Conf. on Permafrost (Edmonton, Alberta, July 10–13, 1978)*. Ottawa, Ontario, Natl. Res. Council of Canada, 1978, Vol. 1, p. 40–46.

Received 17 February 2020

Accepted 24 April 2020

Published 27 April 2020

About the authors:

Makhatkov Igor D. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); makhatkov@issa-siberia.ru

Ermolov Yury V. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Biogeochemistry in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); ermolov@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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

К 110-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА ВЛАДИМИРА РОДИОНОВИЧА ВОЛОБУЕВА© 2019 А. П. Герайзаде¹, Ч. Г. Гюлалыев², А. В. Чичулин³, В. А. Андроханов³

Адрес: ¹ Институт почвоведения и агрохимии НАН Азербайджан, AZ1073, Азербайджан, г. Баку, ул., Маммед Рахим, 5. E-mail: gerayzade-akif@rambler.ru

² Институт географии НАН Азербайджан, AZ1143, Азербайджан, г. Баку, ул. Г. Джавида, 115. E-mail: ch_gulaliyev@yahoo.com

³ ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: chichulin@issa-siberia.ru

Приведены биографические сведения и краткий очерк научной и организационной деятельности академика, профессора Владимира Родионовича Волобуева, внесшего выдающийся вклад в изучение фундаментальных и прикладных свойств почв. Отмечена его роль в развитии новых научных направлений - экологии почв и энергетики почвообразования.

Ключевые слова: Владимир Родионович Волобуев; экология почв; энергетика почвообразования; классификация почв; почвенно-климатические ареалы, мелиорация почв

Цитирование: Герайзаде А. П., Гюлалыев Ч. Г., Чичулин А. В., Андроханов В. А. К 110-летию академика Владимира Родионовича Волобуева // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 4. e92. doi: 10.31251/pos.v2i4.92



Владимир Родионович Волобуев

25.07.1909 - 07.11.1987

Владимира Родионовича Волобуева, учитывая его особые заслуги в развитии азербайджанского почвоведения, по распоряжению Президента Азербайджанской Республики Национальная Академия Наук Азербайджана провела мероприятия, посвященные 110-летию академика Владимира Родионовича Волобуева.

Волобуев Владимир Родионович – ученый-почвовед, Академик АН Азербайджана, член-корреспондент АН СССР – родился 25 июля 1909 г. в городе Екатеринодаре (Краснодар). В 1930 году по окончании Кубанского сельскохозяйственного института он был направлен на работу на Муганскую опытно-мелиоративную станцию в Саатлинский район. С этого времени вся жизнь, и научная деятельность Волобуева была связана с Азербайджаном и Баку.

В июле 2019 года исполнилось 110 лет со дня рождения действительного члена Академии Наук Азербайджанской Республики, члена-корреспондента Академии наук СССР, дважды лауреата Государственной премии СССР, заслуженного деятеля науки, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Владимира Родионовича Волобуева.

В.Р.Волобуев определенными им методологическими принципами, количественными результатами, выдвинутой теорией и разработанной классификацией внес большой вклад в развитие почвоведения не только в Азербайджане, но и в Советском Союзе в целом. Результаты его работы представляют большое научно-практическое значение для фундаментальных исследований по мелиорации земель, составлению геоморфологических карт, взаимосвязи почв и климата, экологии почв.

Подготовленные под его руководством высококвалифицированные кадры успешно выполнили в Азербайджане многочисленные фундаментальные исследовательские работы по почвоведению.

В целях обеспечения проведения 110-летней годовщины со дня рождения видного ученого

Владимир Родионович в 30-годах начал работать под руководством профессора В. П. Смирнова-Логина. Именно в те времена начались крупномасштабные исследования по изучению почв и почвенно-мелиоративные съемки для инженерно-строительных работ Самур-Абшеронского канала, изучению почвенно-мелиоративного состояния почв Кура-Аразской низменности. В 1945 г на основе Сектора Почвоведения Азербайджанского Филиала АН СССР был создан Институт почвоведения и агрохимии, где образовалось несколько научных школ, в частности, В.Р. Волобуев создал научную школу по мелиорации почв и энергетике почвообразования.

В 1955 г. В. Р. Волобуев был избран членом-корреспондентом АН АзССР и становится руководителем Института почвоведения и агрохимии. В 1958 г. он был избран действительным членом АН Азербайджанской ССР. В 1957-59 гг. Волобуев стал академиком-секретарем Отделения биологических наук АН АзССР, а в 1959 году – вице-президентом Академии наук. В 1959 г академик АН АзССР В.Р. Волобуев был избран член-корреспондентом АН СССР по Отделению биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений (почвоведение, агрохимия) и главным редактором журнала "Почвоведение" СССР. Он установил принципы мелиоративного районирования и создал теорию промывки почв; разрабатывал вопросы экологии, классификации и диагностики почв. Впервые развил положения об энергетике почвообразования.

В 1958 г академику В. Р. Волобуеву была присуждена премия им. В. В. Докучаева.

С именем В.Р.Волобуева связана целая эпоха почвенной науки. В первой половине 60-х годов появилась первая специально посвященная проблеме экологии почв монография В. Р. Волобуева "Экология почв" (1963), которая в дальнейшем была переведена на иврит и китайский языки и переиздана в соответствующих странах. Затем последовали другие монографии, развивающие разные аспекты экологии почв, такие как "Система почв мира" (1973) и "Введение в энергетiku почвообразования" (1974). В этих работах, как и в первой своей монографии "Почвы и климат" (1953), автор как человек высочайшей культуры и интеллигентности, ученый с мировым именем, очень много сделал для развития отечественной науки, в частности данного направления в почвоведении. Им предложены и обоснованы основные положения и методы экологии почв, на основе которых выявлены и описаны закономерности в системе фактор почвообразования - почвы, в том числе наиболее детально в системе климат-почвы.

В. Р. Волобуевым разработана гидротермическая система связи почв с климатом, выделены термо- и гидроряды с определенными градациями тепла и увлажненности, дано термодинамическое обоснование соотношений почва-растение- климат, а также разработано новое направление в рамках учения об экологии почв - "Энергетика почвообразования" (1974).

На основе своих разработок В. Р. Волобуев создал классификацию почв мира (1973). За труды по экологии, классификации и диагностике почв и за создание теории промывки почв академику В. Р. Волобуеву дважды присуждали Государственную премию СССР (1967 и 1980 гг.), а также Золотую медаль В.В.Докучаева.

Эти работы ни в малейшей степени не устарели. Они и в настоящее время продолжают оставаться своеобразным эталоном, демонстрирующим неразрывное единство концептуальных и количественных исследований в почвоведении. Почвовед по образованию, относящийся к классикам широкого мышления о природе, В. Р. Волобуев обладал и физико-математическим складом ума. Именно по этой причине на результаты его работ продолжают ссылаться и классические почвоведы и математики, создающие математические модели биогеохимических циклов в экосистемах, а установленные им почвенно-климатические взаимосвязи служат основой и естественным образом вписываются в современные теоретические работы по экологии почв и энергетике почвообразования. Неслучайно крупнейший историк международного почвоведения и популяризатор науки И. А. Крупенников писал о В. Р. Волобуеве: "Многие почвоведы были эрудитами, но он, я бы сказал, являлся "универсальным эрудитом": хорошо знал высшую математику, физику (особенно те разделы, которые касались энергии), химию, мировую географию и еще многое другое. Интересовался (где он находил время?) художественной литературой, очень любил М.Ю. Лермонтова."

Владимир Родионович подготовил целую плеяду учеников – докторов и кандидатов наук, многие из которых в последствии стали членами-корреспондентами АН Азербайджана, и Лауреатами Государственной Премии СССР. Человек высочайшей эрудиции и культуры, общепризнанная величина в научных направлениях почвоведения, экологии, мелиорации и географии, В. Р. Волобуев был также крайне скромн, отзывчив и прост в общении. Добрейший,

но при этом серьезный и принципиальный в научных трактовках Владимир Родионович не позволял себе быть в нагрузку другим ученым или молодым специалистам. В. Р. Волобуев умел ценить также красоту и искусство. Он привозил с собою из разных стран различные фигурки, символизирующие культуру той страны. В его коллекции шедевром мировой культуры, которым он гордился, являлись китайские вазы XVIII-XIX веков (в БСЭ написано - один экземпляр вазы в Эрмитаже, а другой с колпаком - место нахождения неизвестно) и стулья А. Нобеля, на обороте которых вырезаны буквы N (попавшие в Большую Советскую Энциклопедию), а также японские миниатюры Нетской культуры и редчайшие часы с золотым отливом и канделябрами (очень похожие на часы, находящиеся в кабинете Президента Российской Федерации).

При этом Владимир Родионович и сам получал удовольствие от собственноручного изготовления определенных предметов искусства. Он приобретал различные горные породы и разрезая их на две части, долгое время терпеливо шлифовал каждую половинку наждачной бумагой, получая в результате определенную фактуру профиля неповторимой красоты, и мог любоваться камнем часами.

Владимир Родионович как в вещах, так и в выборе учеников был удивительно тонким и чутким человеком. Все его ученики, может быть, за исключением одного или двух, стали специалистами довольно высокого класса. Некоторым из них удалось создать свою научную школу, а некоторым – продолжить научные идеи в своих научных разработках.

В Институте почвоведения и агрохимии Национальной Академии Наук Азербайджана последователи В.Р. Волобуева проводят исследования в области энергетики почвообразования (биогеоэнергетика), экологии и мелиорации почв. В знак уважения к 110-летию Владимира Родионовича Волобуева продолжателями его учения Н.Р. Сулеймановым, А.Г. Гулиевым, Р.Я. Аббасовым и Н.Б. Ализаде написана монография “Вклад школы В.Р.Волобуева в решение фундаментальных проблем почвоведения”, а Керимов А. и Самедов П. опубликовали монографию “Экологические и энергетические пути повышения производительности почв, их проблемы и прикладное значение”, являющуюся плодом многолетних комплексных исследований.

Волобуев Владимир Родионович ушел из жизни 7 ноября 1987 г. на 78-ом году жизни и захоронен на почетной аллее г. Баку.

ОСНОВНЫЕ МОНОГРАФИИ В. Р. ВОЛОБУЕВА

1. Волобуев В. Р. Почвы и климат. Баку, Изд. Акад. наук Азерб. ССР., 1953. 320 с.
2. Волобуев В. Р. Экология почв. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1963.
3. Волобуев В. Р. Система почв мира. Баку: ЭЛМ, 1973. 308 с.
4. Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. 128 с.

Поступила в редакцию 28.12.2019

Принята 30.12.2019

Опубликована 30.12.2019

Сведения об авторах:

Герайзаде Акиф Паша оглы – доктор аграрных наук, профессор, зав. отделом Института почвоведения и агрохимии НАН Азербайджана (Баку, Азербайджан); gerayzade-akif@rambler.ru

Гюлалыев Чингиз Гюлалы оглы – доктор аграрных наук, доцент, зав. отделом Института географии НАН Азербайджана (Баку, Азербайджан); ch_gulaliyev@yahoo.com

Чичулин Александр Валентинович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); chichulin@issa-siberia.ru

Андроханов Владимир Алексеевич – доктор биологических наук, врио директора Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); androhanov@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

THE 110-TH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN VLADIMIR RODIONOVICH
VOLOBUYEV

© 2019 A.P. Geraizade¹, Ch. G. Gulalyev², A.V., Chichulin³, V.A. Androkhanov³

Address: ¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku. E-mail: gerayzade-akif@rambler.ru

²Institute of Geography of the the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku. E-mail: ch_gulaliyev@yahoo.com

³Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Russia, Novosibirsk. E-mail: chichulin@issa-siberia.ru

The article gives some biographical information and a brief outline of scientific and organizational activities of the Academician, Professor Vladimir Rodionovich Volobuev, who made an outstanding contribution to the study of the fundamental and applied properties of soils. The article also highlights his role in the development of new scientific directions, namely soil ecology and the soil formation energetics.

Key words: Vladimir Rodionovich Volobuev; soil ecology; soil formation energy; soil classification; soil-climatic areas, land reclamation

How to cite: Geraizade A.P., Gulalyev Ch. G., Chichulin A.V., Androkhanov V.A. The 110th anniversary of Academician Vladimir Rodionovich Volobuev // *The Journal of Soils and Environment*. 2019. 2(4). e92. doi: [10.31251/pos.v2i4.92](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.92) (in Russian with an English abstract).

MAIN MONOGRAPHS OF V.R. VOLOBUYEV

1. Volobuev V. R. *Soil and climate*. Baku, ed. Acad. Sciences Azerb. SSR., 1953.320 p.
2. Volobuev V. R. *Soil ecology*. Baku: Publishing House of the Azerbaijan Academy of Sciences. SSR, 1963.
3. Volobuev V. R. *The system of soils of the world*. Baku: ELM, 1973. 308 p.
4. Volobuev V. R. *Introduction to the energy of soil formation*. M.: Nauka, 1974. 128 p.

Received 28 December 2019

Accepted 30 December 2019

Published 30 December 2019

About the authors:

Geraizade Akif Pasha oglu – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head. Department of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan); gerayzade-akif@rambler.ru

Gulalyev Chingiz Gyulaly oglu – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head. Department of the Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (Baku, Azerbaijan); ch_gulaliyev@yahoo.com

Chichulin Alexander Valentinovich – candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of soil-physical processes at the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS (Novosibirsk, Russia); chichulin@issa-siberia.ru

Androkhanov Vladimir Alekseevich – Doctor of Biological Sciences, Director of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, Russia); androhanov@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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

ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ПАЛЕОПОЧВОВЕДЕНИЮ В СИБИРИ: «ПАЛЕОПОЧВЫ – ХРАНИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ О ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ ПРОШЛОГО» (2010–2019 ГГ.)

© 2020 М.И. Дергачева¹ , А.О. Макеев² 

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

² ФГБОУВО Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия. E-mail: makeevao@gmail.com

Дается анализ работы Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению, которая проводилась в течение десяти лет в Сибири на территории Алтайского края, где распространены уникальные плейстоценовые лёссово-почвенные серии, а в почвенном покрове горизонты палеопочв и современных почв находятся в едином профильном пространстве. Приводится перечень тем лекций и прочитавших их российских и зарубежных ученых, сведения об опубликованной на русском языке монографии «Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики», представляющей собой лекции, прочитанные на Школе с её основания до 2014 года, а также об издании избранных лекций на двух языках (русском и английском) в серии «Палеопочвы – источник информации о природной среде прошлого». Подчеркивается, что выделенный для проведения Школы ключевой участок «Володарка» имеет большое значение не только для проведения полевых мастер-классов, но он удобен и как полигон для научных исследований, поскольку на его территории встречаются разнообразные ситуации, которые могут служить моделями, подготовленными самой природой.

Ключевые слова: палеопочвоведение; палеоэкология; лёссово-почвенная серия; плейстоцен; эволюция; методы; лекции; мастер-классы

Цитирование: Дергачева М.И., Макеев А.О. Ежегодная Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению в Сибири: «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого» (2010–2019 гг.) // Почвы и окружающая среда. 2019. Том 2. № 4. e103. doi: [10.31251/pos.v2i4.103](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.103)

Международная научная молодежная школа по палеопочвоведению «Палеопочвы – хранители информации о природной среде прошлого», проходившая ежегодно в Сибири, в Алтайском крае в 300 км от Новосибирска (далее – школа), в 2019 году проходила с 01 по 09 августа и была завершающей. Инициатором и бессменным организатором этой школы все десять лет выступал Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПА СО РАН), где уже более 40 лет изучают проблемы использования палеопочв и почвенных компонентов для изучения эволюции современного почвенного покрова и реконструкции палеоприродной среды континентальной Евразии.

Начало работы Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению относится к 2010 году, когда возникла идея организации школы такого научного направления, была разработана её концепция и осуществлено первое её воплощение.

Концепция школы предопределяла наличие трех блоков: лекций, которые читают ведущие ученые мировой науки; мастер-классов, которые они проводят, и отдельной научной сессии, где молодые, но уже состоявшиеся ученые и только начинающая и ищущая свой путь в науке молодежь имеют возможность доложить свои материалы, идеи и обсудить их с маститыми учеными. Ежегодно после окончания работы школы участники отправлялись в разные места Горного Алтая: на Телецкое озеро, Катунь, в Денисову пещеру.

Решение о месте проведения школы на территории северо-восточной части Приобского плато было принято потому, что в этом месте находится хорошо просматриваемая в береговом обнажении реки Обь уникальная лёссово-почвенная серия плейстоцена. Там имеются все виды палеопочв (погребенных, поверхностных и резкспонированных или иначе эксгумированных), что привлекает внимание ученых разных научных направлений. Здесь для удобства проведения школы по палеопочвоведению с ее разнообразной деятельностью и решением разнообразных задач был выделен ключевой участок, названный «Володарка», где имеется не только все разнообразие палеопочв, но и можно увидеть сочетание признаков современного и древнего почвообразования в едином профильном пространстве. Этот ключевой участок используется для

проведения полевых мастер-классов в рамках работы школы; он удобен и как полигон для изучения разнообразных модельных ситуаций, созданных самой природой.



Фото 1. Участники второй Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению в Сибири (2011 г.) на фоне разреза палеопочвы, в подошве которой З.Н. Гнибиденко выявлена граница Брюнес –Матуяма (к этому разрезу ведет лестница, на которой расположились участники школы).

Инициаторы организации школы перед началом ее работы обратились к сообществу палеопочвоведов, сначала России, потом и других стран. Эта инициатива была поддержана прежде всего Сибирским отделением Российской академии наук, которое оказывало содействие в ее проведении вплоть до 2014 года – года перехода Институтов РАН под эгиду ФАНО. Эту инициативу горячо поддержал академик РАН Глеб Всеволодович Добровольский, который стал её почетным председателем и очень содействовал проведению школы вплоть до ухода из жизни в 2013 году. В некоторые годы организаторы имели поддержку РФФИ.

С самого начала проведение работы школы было поддержано также другими учреждениями науки и образования. В разные годы, кроме ИПА СО РАН, соучредителями вступали и другие организации России (Институт водных и экологических проблем СО РАН, Научный исследовательский Томский государственный университет, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Тувинский государственный университет, Новосибирский государственный педагогический университет), а также организации Республики Казахстан (Евразийский Национальный университет и Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ). Проведение Школы было поддержано комиссией по палеопочвоведению Международного общества почвоведов (IUSS) и Обществом почвоведов им. В.В. Докучаева. Некоторую помощь организаторы школы получали и от волонтеров, доставлявших молодых участников и лекторов к месту проведения школы.

Сопредседателями организационного комитета Школы все 10 лет были главный научный сотрудник Института почвоведения и агрохимии СО РАН, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН, доктор биологических наук, профессор Мария Ивановна Дергачева и ведущий научный сотрудник МГУ, секретарь Комиссии по палеопочвоведению Международного общества почвоведов и Председатель комиссии по палеопочвоведению Общества почвоведов имени В.В. Докучаева, доктор биологических наук Александр Олегович Макеев.

В течение десяти лет ежегодно ведущие российские и зарубежные ученые выступали с лекциями как по основополагающим теоретическим и прикладным вопросам палеопочвоведения, так и по ряду актуальных вопросов сопредельных наук, проводили мастер-классы по основным методам полевого изучения палеопочв, а молодые начинающие исследователи обсуждали с ними свои идеи и результаты.

В разные годы число лекторов и ученых, проводивших мастер-классы, отличалось: от 11 (на первой школе) до 17 на пятой и десятой Школах. Они прочитали более 150 лекций, и провели около 50 мастер-классов. Лекции в разные годы читали ведущие ученые-палеопедологи и специалисты сопредельных наук из разных научных центров и Университетов России, а также из Венгрии, Германии, Израиля, Казахстана, Канады, Мексики, Монголии, Турции, Франции, Швейцарии, Южной Кореи.

Ежегодно участникам школы читалась лекция об основах палеопочвоведения и месте его в системе биогосферных наук (проф. А.О. Макеев, Россия) или введение в палеопочвоведение и палеоэкологию (проф. М.И. Дергачева, Россия), освещались вопросы о палеопочвах в геологической истории Земли (проф. А.О. Макеев и В.П.Парначев, Россия), о классификации современных почв и палеопочв (prof. Wolfgang Zech, Germany и проф. И.Н. Феденева, Россия). В серии лекций обсуждались возможности и использование в палеопочвоведении разных подходов и методов: микробиоморфного (проф. А.А. Гольева, Россия), альгологического (доц. А.Г. Благодатнова, Россия), микроморфологического (проф. М.П. Лебедева-Верба, Россия), палеомагнитного и капаметрии (проф. З.Н. Гнибиденко, Россия; проф. С.П. Ломов и проф. М.И. Дергачева, Россия), споро-пыльцевого (проф.Т.А. Бляхарчук, Россия; PhD Ludmila Shumilovskikh, Germany), биомаркеров и стабильных изотопов (PhD Michael Zech, Germany; prof. Ahmet Mermut, Turkey; к.б.н. Д.Б.Андреева, доц. О.Н. Некрасова и доц. О.С. Якименко, Россия), педогумусового (проф. М.И.Дергачева, Россия), спектрофотометрического (к.б.н. Н.И. Гранина, Россия), геохимических индикаторов (д.б.н. А.И. Сысо, Россия), а также катенарного и бассейнового подходов (к.б.н. С.А. Сычева, д.б.н. Т. Трифонова, Россия), а также карбонатного состояния, угольного спектра палеопочв и некоторых вопросов образования гумусовых веществ в биосфере от древних времен до современности (проф. О.С. Хохлова, Россия; PhD Elena Ponomarenko, Canada; к.б.н. А. Заварзина, Россия). Молодые участники регулярно слушали лекции о проблемах и методах абсолютного датирования палеопочв и отложений (Vladimir Sheinkman, Israel, Russia; Wolfgang Zech, Germany; Э.П. Зазовская, Россия). Отметим еще, что была прочитана серия лекций, отражающая вопросы состояния палеопочв разных регионов и природной среды, их формирующей, разных объектов и геологического возраста: поверхностных палеопочв (проф. А.О. Макеев, Россия), погребенных палеопочв урболандшафтов (проф. О.С. Безуглова, Россия), палеопочв плейстоцена и плиоцена (проф. Алексей Русаков, Россия; к.б.н. Н.В. Вашукевич, к.б.н. О.А. Некрасова, Россия; prof. Sergey Sedov, Mexico), ландшафтов голоцена (проф. Ю.Г. Чендев и к.б.н. С.А. Сычева, Россия; С.Хадбаатар, Монголия), палеопочв археологических объектов и предистории разных времен (к.и.н. С.Росликов, проф. С.П. Ломов и к.б.н. И.Н. Коркина, Россия; prof. György Fülekü, Hungary; G. Persaits, Hungary; PhD Jung Haye Kyung, South Korea; проф. А.Таиров, Россия). Ежегодно молодые участники слушали лекции Валентины Викторовны Рыковой – сотрудницы государственной публичной научно-технической библиотеки СО РАН, которая освещала разные вопросы, касающиеся информационной структуры научных исследований применительно к палеопочвоведению и палеоэкологии, а также лекции о актуальных вопросах современности, например, о состоянии и изменении современного климата (к.г.н. Л.В. Воронина, Россия), об естественных и искусственных радиоактивных элементах в почвах России и о перспективах почвенных исследований на бывшем Семипалатинском ядерном испытательном полигоне (д.б.н., С. Н. Лукашенко, Республика Казахстан) и другие.

В девяти выпущенных за период работы школы сборниках опубликованы материалы исследований молодых ученых, кто уже связал свой научный путь с палеопочвоведением или с другими науками, где знания палеопочв необходимы для решения разнообразных задач, лежащих в рамках проблем, связанных с науками о Жизни и о Земле. В отдельные годы опубликованы

краткие изложения проблем или основных вопросов, которые представляли на Школе ведущие ученые мира в области палеопочвоведения и сопредельных наук в виде лекций. В 2012 году была опубликована на русском языке монография «Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики», главы которой были написаны учеными-лекторами специально для молодых участников школы. В 2014 году в серии «Палеопочвы как источник информации о природной среде прошлого» был начат ежегодный выпуск отдельных брошюр с параллельным текстом на двух языках – русском и английском – представляющих собой избранные лекции ученых, прочитанных в разные годы. Пять выпусков уже опубликованы.

Как всегда, в работе школы участвовали ежегодно не только те молодые ученые, которые уже определили свое место в науке, но немало и тех молодых любознательных юношей и девушек, которые хотели бы познакомиться с проблемами, объектами и методами палеопочвоведения, послушать молодых и маститых коллег, поучаствовать в мастер-классах, определиться со своими интересами в науке, хотя пока их интересы лежат далеко от области палеопочвоведения. Именно поэтому в выпущенных сборниках в перечне публикаций проглядывает большое разнообразие представленных работ по тематике, уровню постановки проблем и их разработанности. Среди молодых участников были и те, кто пока не решался опубликовать свои материалы или просто их не имел, но длительная, почти уже десятилетняя история работы школы свидетельствует, что немало ее участников связали свои интересы с палеопочвоведением или близкими к нему науками, побывав на школе по палеопочвоведению. Среди 380 молодых участников, очно принявших участие в работе школы, были представители разных городов России: Астрахани, Барнаула, Белгорода, Владивостока, Екатеринбурга, Иркутска, Кемерово, Красноярска, Кызыла, Москвы, Нижневартовска, Новосибирска, Перми, Пущино, Ростова-на-Дону, Самары, Санкт-Петербурга, Томска, Тюмени, Улан-Удэ, а также других стран: Азербайджана, Бельгии, Венгрии, Германии, Канады, Казахстана, Монголии, Украины, Швейцарии, Эфиопии, Южной Кореи, которые сделали более 200 устных и постерных докладов. Более 150 человек приняли участие в работе школы заочно, прислав свои материалы для публикации или выступая в виде соавторов.

И в юбилейном для школы 2019 году вновь собралось сообщество ведущих специалистов, имеющих отношение к решению проблем палеопочвоведения, и около 40 молодых участников, интересующихся этой областью знаний. Семнадцатью ведущими учеными из России, Германии и Турции было прочитано 19 лекций и проведено для молодых участников, прибывших из разных уголков России, а также аспирантов из Эфиопии, обучающихся в Германии, пять мастер-классов по методическим приемам отбора образцов, сохранности и описания изучаемых объектов с целью использования разных методов при изучении палеопочв. На X коле секция для молодых участников была посвящена почвам и палеопочвам как источнику информации о природной среде прошлого, а материалы к докладам опубликованы в сборнике такого же названия.

После окончания основной работы Школы, все участники отправились на традиционную постшкольную экскурсию в Горный Алтай на объект мировой значимости – Денисову пещеру, где были найдены кости человека, названного авторами находки Денисовцем.



Фото 2. Участники заключительной юбилейной X Международной научной молодежной школы по палеопочвоведению в Сибири (2019 г.)

Хочется напомнить, что девиз Школы по палеопочвоведению имеет глубокий смысл: «Без прошлого нет настоящего и будущего». Давайте осознаем эту философскую мысль, продолжим настойчиво познавать прошлое и настоящее нашей Земли, потому что они определяют будущее нашего Общества и нашей Планеты.

Поступила в редакцию 30.01.2020

Принята 07.02.2020

Опубликована 10.02.2020

Сведения об авторах:

Дергачева Мария Ивановна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); dergacheva@issa-siberia.ru



Макеев Александр Олегович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения, кафедры географии почв, лаборатории экологического почвоведения Московского государственного университета (Москва, Россия); makeevao@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/)

THE ANNUAL INTERNATIONAL SCIENTIFIC SCHOOL ON PALEOPEDOLOGY FOR YOUNG RESEARCHERS IN SIBERIA: "PALEOSOLS AS SOURCE OF INFORMATION ABOUT PAST ENVIRONMENTS" (2010–2019)

© 2020 M.I. Dergacheva¹ , A.O. Makeev² 

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

²*Moscow State University, Soil Science Faculty, Chair of Geography of Soils, Laboratory of Ecological Soil Science, Moscow, Russia. E-mail: makeevao@gmail.com*

The article presents information about of the work of the International Scientific School on Paleopedology for Young Researchers. This school was conducted for ten years in Siberia in the Altai region, where unique Pleistocene loess-soil series are common and paleosol horizons and modern soils are present simultaneously in one and the same soil profile.

For ten years leading Russian and foreign scientists gave lectures both on fundamental theoretical and applied issues of paleopedology, as well as on a number of topical issues of related sciences, conducted master classes on the basic methods of field study of paleosols, and young researchers discussed their ideas and results.

The article lists the main themes of the lectures/ naming Russian and foreign scientists who read them. It also informs about the monograph "Paleosols, the natural environment and methods for their diagnosis", based on selected lectures at the School from its start until 2014 and published in Russian. Other selected lectures were published in two languages (Russian and English) in the series "Paleosols – a source of information about the Past environment". The article draws attention to the key site "Volodarka" as being of great importance not only for conducting field master classes, but also as a convenient training ground for scientific research, since there occur various soil environment that can serve as models created by nature itself.

Key words: *paleopedology, paleoecology, loess-soil series, Pleistocene, evolution, methods, lectures, master classes*

How to cite: *Dergacheva M.I., Makeev A.O. The annual International scientific School on paleopedology for Young Researchers in Siberia: "Paleosols as source of information about past environments" (2010–2019) // The Journal of Soils and Environment. 2019. 2(4). e103. doi: [10.31251/pos.v2i4.103](https://doi.org/10.31251/pos.v2i4.103) (in Russian with English abstract)*

Received 30 January 2020

Accepted 07 February 2020

Published 20 February 2020

About the authors:

Dergacheva Maria I. – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); dergacheva@issa-siberia.ru

Makeev Alexander O. – Dr.Sci (pedology), Leading research member in the Chair of Geography of Soils and Laboratory of Ecological Soil Science of Soil Science Faculty in the Moscow State University (Moscow, Russia); makeevao@gmail.com

The authors read and approved the final manuscript



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