

ISSN 0136–1694 (Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

ФГБНУ «ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА»

БЮЛЛЕТЕНЬ
ПОЧВЕННОГО ИНСТИТУТА
имени В.В. ДОКУЧАЕВА

Выпуск 107

Москва
2021

<https://bulletin.esoil.ru>

ISSN 0136–1694 (Print)
ISSN 2312-4202 (Online)

V.V. DOKUCHAEV SOIL SCIENCE INSTITUTE

Dokuchaev Soil Bulletin

**(Byulleten Pochvennogo instituta
imeni V.V. Dokuchaeva)**

Volume 107

**Moscow
2021**

<https://bulletin.esoil.ru>

ББК П03
Б 98
УДК 631.4

Главный редактор:
Иванов А. Л., академик РАН

Заместитель главного редактора:
Савин И. Ю., академик РАН

Редакционная коллегия:

А-Ксин Джу (университет Висконсина, США)
Когут Б. М. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва)
Монтанарелла Л. (Институт окружающей среды и устойчивого развития Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, Италия)
Розанов А. Б. (Университет Стелленбош, ЮАР)
Тихонович И. А., академик РАН (Санкт-Петербургский университет, Санкт-Петербург)
Тот Г. (Университет Паннонии, Венгрия)
Хитров Н. Б. (Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва)
Чендев Ю. Г. (Белгородский государственный университет, Белгород)
Швиденко А. З. (Международный институт прикладного системного анализа, Австрия)
Шишков Т. А. (Институт почвоведения им. Н. Пушкирова, Болгария)

Chief Editor:
A. L. Ivanov, Academician of RAS

Deputy Chief Editor:
I. Yu. Savin, Academician of RAS

Editorial board:

A-Xing Zhu (University of Wisconsin-Madison, USA)
B. M. Kogut (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia)
L. Montanarella (Institute for Environment and Sustainability – European Commission’s Joint Research Centre (IES JRC), Italy)
A. B. Rozanov (Stellenbosh University, Republic of South Africa)
I. A. Tikhonovich, Academician of RAS (Saint Petersburg State University, Russia)
G. Toth (University of Pannonia, Hungary)
N. B. Khitrov (V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russia)
Yu. G. Chendev (Belgorod State University, Russia)
A. Z. Shvidenko (International Institute for Applied Systems Analysis, Austria)
T. A. Shishkov (Pushkarov Soil Science Institute, Bulgaria)

© ФГБНУ ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, 2021 г.

© Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Статьи

Глобальный климат и почвенный покров – последствия для землепользования России

Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С.,

Духанин Ю.А., Козлов Д.Н., Баматов И.М. 5

История формирования и особенности почвенно-литолого-геоморфологического строения Джизакской степи как основа ее природного районирования

Панкова Е.И., Голованов Д.Л., Соловьев Д.А., Ямнова И.А. 33

Подвижные формы фосфора в пойменных catenaх реки Амур

Мартынов А.В. 61

Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы естественных и агрофитоценозов

Васбиева М.Т., Завьялова Н.Е. 92

Определение запечатанности почв и грунтов функциональных зон г. Волгограда на основе данных дистанционного зондирования

Гордиенко О.А. 116

Картография почв на страницах журнала “Почвоведение” (обзор публикаций с 1899 г.)

Герасимова М.И., Богданова М.Д. 162

Эратум

Исправление к статье В.И. Росликовой, Л.А. Матюшкиной “Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской низменности в связи с эволюцией форм рельефа” 180

CONTENTS

Scientific articles

Global climate and soil cover – implications for land use in Russia <i>Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Dukhanin Yu.A., Kozlov D.N., Bamatov I.M.</i>	5
The history of the forming and the features of the soil, lithological and geomorphological structure of the Jizzakh steppe as the basais for its natural zoning <i>Pankova E.I., Golovanov D.L., Soloviev D.A., Yamnova I.A.</i>	33
Available for plants phosphorus in the floodplain catenas of the Amur River <i>Martynov A.V.</i>	61
Phosphate regime of sod-podzolic soil in natural and agrophytocenoses <i>Vasbieva M.T., Zavyalova N.E.</i>	92
Determination of soil and ground sealing in functional zones of Volgograd based on remote sensing data <i>Gordienko O.A.</i>	116
Soil mapping in “Pochvovedenie” journal (review of publications since 1899) <i>Gerasimova M.I., Bogdanova M.D.</i>	139

Erratum

Erratum: V.I. Roslikova, L.A. Matyushkina, “Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms”	180
--	-----

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-5-32



Ссылки для цитирования:

Иванов А.Л., Савин И.Ю., Столбовой В.С., Духанин Ю.А., Козлов Д.Н., Баматов И.М. Глобальный климат и почвенный покров – последствия для землепользования России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 5-32. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-5-32

Cite this article as:

Ivanov A.L., Savin I.Yu., Stolbovoy V.S., Dukhanin Yu.A., Kozlov D.N., Vamatov I.M., Global climate and soil cover – implications for land use in Russia, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 5-32, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-5-32

Глобальный климат и почвенный покров – последствия для землепользования России¹

© 2021 г. А. Л. Иванов, И. Ю. Савин*, В. С. Столбовой,
Ю. А. Духанин**, Д. Н. Козлов, И. М. Баматов

*ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,*

* <https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_ivu@esoil.ru,
** e-mail: secretary@esoil.ru.

Поступила в редакцию 10.06.2021, принята к публикации 16.06.2021

Резюме: Обосновывается необходимость комплексного описания потоков парниковых газов на разных типах почв, методология создания “карбоновых полигонов” и “карбоновых ферм” с применением современных методов оценки потоков углерода в экосистемах с учетом специфики природных условий России и конкурентных преимуществ. Даны направления разработки национальных методов расчетов потоков углерода, которые подлежат верификации заинтересованными сторонами принятого Российской Федерацией Парижского соглашения. Рассматриваются вопросы, связанные с ролью и потенциалом

¹ По материалам выступления на “Экспертной сессии Президиума РАН по стратегии низкоуглеродного развития России” 27.03.2021. Портал “Научная Россия” <https://scientificrussia.ru/articles/ekspertnaya-sessiya-po-strategii-nizkouglerodnogo-razvitiya-rossii>.

почвенного покрова России в балансе углерода планеты, факторы снижения запасов углерода из верхнего метрового слоя почвы, конкурентные преимущества перед ЕС и западным миром в части природно-климатических изменений, использование возможностей дистанционного зондирования Земли из космоса в целях получения регулярных, полных и достоверных оценок поглощения парниковых газов.

Ключевые слова: глобальный климат, почвенный покров, национальная система учета баланса углерода.

Global climate and soil cover – implications for land use in Russia²

© 2021 A. L. Ivanov, I. Yu. Savin, V. S. Stolbovov,
Yu. A. Dukhanin*, D. N. Kozlov, I. M. Bamatov

*Federal Research Centre “V.V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru,
e-mail: secretary@esoil.ru.

Received 10.06.2021, Accepted 16.06.2021

Abstract: The necessity of a comprehensive description of greenhouse gas fluxes on different types of soils, the methodology for creating “carbon polygons” and “carbon farms” with the use of modern methods for assessing carbon fluxes in ecosystems, taking into account the specifics of the natural conditions of Russia and competitive advantages, are substantiated. Directions for developing national methods for calculating carbon fluxes are given, which should be subjected to verification by the interested parties of the Paris Agreement adopted by the Russian Federation. Such issues are considered as the role and potential of the Russian soil cover in the carbon balance of the planet, factors of reducing carbon stocks from the upper 1 meter depth layer of the soil, competitive edge in the EU and the Western world in the questions of natural and climatic changes, the use of remote sensing of the Earth from space in order to obtain regular, complete and reliable estimates of the absorption of greenhouse gases.

² Proceedings of the “Expert Session of the Presidium of the RAS on Low-Carbon Development Strategy of Russia”. 27.03.2021. “Scientific Russia” portal: <https://scientificrussia.ru/articles/ekspertnaya-sessiya-po-strategii-nizkouglerodnogo-razvitiya-rossii>.

Keywords: global climate, soil cover, national carbon accounting system.

ВВЕДЕНИЕ

Современная Россия столкнулась с новыми вызовами: социальными, экономическими, природно-климатическими. Тенденции глобализации экономики, доминировавшие в последние десятилетия, обернулись глобальными проблемами и актуализировали изоляционные процессы. Пандемия COVID-19 явилась лишь спусковым механизмом, в “одночасье” обострившим назревшие проблемы глобализации, системный, финансовый и мировой кризисы природопользования.

Несмотря на смещение информационного акцента в 2020 г., проблемы, связанные с глобальным изменением климата, остаются серьезнейшим вызовом, в т. ч. и для аграрной отрасли. Проблема глобального климата, будучи первоначально некой “хайповой” темой, приобретает осязаемые очертания и оказывает влияние на принятие управленческих и законодательных решений при беспрецедентном международном давлении на Россию, подписавшую ряд конвенций, договоров, соглашений и т. д.

Парижским соглашением предусмотрены разработка долгосрочной национальной стратегии “низкоуглеродного” развития и сокращение выбросов парниковых газов как минимум на 40% к 2030 г. (а в дальнейшем – и до 55% к 2050 г.) ([Lugato et al., 2020](#)): “Всем сторонам следует стремиться формулировать и сообщать долгосрочные стратегии развития с низким уровнем выбросов парниковых газов с учетом статьи 2, принимая во внимание свою общую, но дифференцированную ответственность и соответствующие возможности, в свете различных национальных условий” (ст. 4, п. 19). Однако следует учесть тот факт, что в упомянутом соглашении и его реализации применительно к сельскому хозяйству, в процессе которого основной целью является использование и получение оптимального количества органического вещества и биомассы, термин “низкоуглеродное развитие” требует уточнения. Речь должна идти в данном случае о низкоэмиссионном развитии, подразумевая под таковым снижение выбросов CO₂, CH₄ и N₂O в атмосферу в результате сельскохозяйственного производства за счет приемов, препятствующих необратимой минерализации и

способствующих поддержанию и оптимальному накоплению органического вещества в почве ([Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России”, 2018](#)).

Россия поддерживает инициативу “4 промилле” (4 на 1 000), суть которой – “компенсация выбросов парниковых газов и их поглощение почвами”, т. е. создание дополнительной почвенной органики и использование постградационных агротехнологий, сдерживающих минерализацию органического вещества, что отвечает понятию низкоуглеродного развития производства ([Иванов, Столбовой, 2019](#); [Ivanov et al., 2019](#); [Schlesinger, 1999](#)). Следовательно, важнейшим условием устойчивого развития сельхозпроизводства является сохранение и увеличение содержания углерода в почвах. С переходом к низкоэмиссионному земледелию, аккумулирующему углерод, и проградационным агротехнологиям связывают также перспективу регулирования баланса выбросов парниковых газов. Необходима Национальная система учета и мониторинга баланса содержания органического углерода в почвах (сельхозугодий) с учетом огромного разнообразия природной среды в нашей стране. Цель данной работы – анализ природно-территориальных особенностей и региональной специфичности объемов поглощения углекислого газа почвами Российской Федерации, определение значения роли России в глобальном балансе парниковых газов, возможности получения современной количественной оценки запасов органического углерода в метровом слое почв России с учетом огромного их разнообразия и уникальности эволюции современного почвообразования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Российская система оценки антропогенных выбросов и поглощения парниковых газов и российский реестр углеродных единиц созданы еще в 2006 г. Функцию уполномоченного национального органа по системе оценки баланса органического углерода в почве выполняет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Методология национальной отчетности для раздела, включающего почвенный фонд Российской Федерации, и требования по учету выбросов и поглощения разными типами почв парниковых газов изложены в

Национальном докладе “Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)” (2018).

Педогенно-регулируемые потоки и запасы почвенного органического вещества (углерода) в газообразной, жидкой и твердой фазах на территории России имеют глобальное значение. Вместе с тем почвы нашей страны остаются недостаточно продемонстрированными в глобальных коллекциях почвенных данных. Недостаток национальных почвенных данных на международном уровне приводит к тому, что оценка резервов почвенного органического углерода нашей страны в глобальных проектах выполняется на основе усредненных показателей содержания почвенного органического углерода и доли России в почвенном фонде Мира. Такой подход к оценке искажает значения действительных запасов почвенного органического углерода в России. Сложившаяся ситуация не может быть исправлена международными проектами, к примеру, такими как ISRIC ([Sanderman et al., 2017](#)), GlobalSoilMap ([Savin, Stolbovoy, 2014](#)), FAO ([Harmonized World Soil Database, 2012](#)), Grid и т. д.

С другой стороны, в основе оценки запасов углерода в почвах лежит обобщение разнокачественных национальных данных, объединение которых в глобальные коллекции связано с большими ошибками. Так, например, изменение содержания гумуса в пределах почвенных единиц второго уровня FAO достигает ~ 200 %. При этом следует отметить, что доступ к отечественным почвенным данным на международном уровне остается ограниченным в силу языковых, научно-технических и ряда других причин.

За основу в методологической части данной статьи были взяты методики В.С. Столбового ([Национальный доклад “Глобальный климат...”](#), 2018). Расчеты углеродного баланса, согласно автору, проводились по методикам, принятым международными сообществами, которые обеспечивают сопоставимость результатов с данными других стран и глобальных проектов.

Использовались взвешенные по площадям средние значения углерода на уровне отделов почв (www.iea.org/ipcc/invs1). Этот

почвенно-таксонометрический уровень согласуется с главными особенностями цикла органических веществ наземных экосистем России (Тюрин, 1965). Определение запасов почвенного органического вещества (углерода) проводили с учетом показателей плотности почвы, получение которых, однако, сопряжено с некоторыми трудностями, связанными с отбором проб с ненарушенным строением почвы. На практике распространено определение содержания почвенного органического углерода в % или в мгС на 1 кг почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Преобладание холодного гумидного климата в Российской Федерации обеспечило повышенные запасы органического углерода в почвах. Этот показатель почти в два раза выше, чем в странах ЕС, США, Австралии и др. Многолетние наблюдения показывают, что почвы Российской Федерации содержат в 6 раз больше углерода, чем растительность, и можно констатировать, что учет роли почв в регулировании и улучшении баланса углерода страны оправдан и целесообразен. Суммарный выброс в России двуокиси углерода или CO_2 -эквивалентов оценивается в 2 500 млн т, что в пересчете на углерод составляет порядка 681 млн т углерода. Резерв же секвестрации в почвах РФ около 3.67 млрд т углерода³ или более 13 млрд CO_2 -экв, что составляет более 19 суммарных годовых выбросов парниковых газов.

В действительности почвенный фонд Российской Федерации составляет около 12% почвенного фонда всего земного шара, но верхние горизонты почв аккумулируют не менее 23% глобальных запасов почвенно-органического вещества. В таблице 1 приведены расчетные данные концентрации почвенного органического вещества в верхнем слое (0–30 см) основных типов почв России, где наибольшая (20.9 кгС/м^2) и наименьшая (1.7 кгС/м^2) концентрации секвестрированного углерода были отмечены в органо-генных и малогумусовых аккумулятивно-карбонатных почвах соответственно.

³ ГтС – гигатонна ($1 \cdot 10^9$) – миллиард тонн углерода.

Таблица 1. Взвешенная по площади средняя концентрация (кгС/м²) органического углерода по слоям (м) нативных почв России
Table 1. Area-weighted average concentrations (kgC/m²) of organic carbon in different layers (m) of native Russian soils

Типы почвообразования	Органический (м)		
	0–0.3	0–1.0	0–2.0
Органогенные	20.9	81.3	134.1
Глееземы	17.6	23.1	24.1
Метаморфические	12.2	15.2	15.7
Гумусово-аккумулятивные	11.7	20.2	22.4
Дерновые органо-аккумулятивные	10.3	13.9	15.1
Вулканические	7.0	18.2	22.3
Текстурно-дифференцированные	7.0	10.8	11.9
Литоземы	6.8	Не определено	Не определено
Al-Fe-гумусовые	6.7	9.7	10.0
Аллювиальные	6.2	14.1	18.0
Галоморфные	5.0	9.0	10.4
Щелочные глинисто-дифференцированные	4.8	7.3	8.2
Криоземы	4.6	Не определено	Не определено
Маломощные слаборазвитые	3.1	Не определено	Не определено
Малогумусовые аккумулятивно-карбонатные	1.7	2.6	2.9

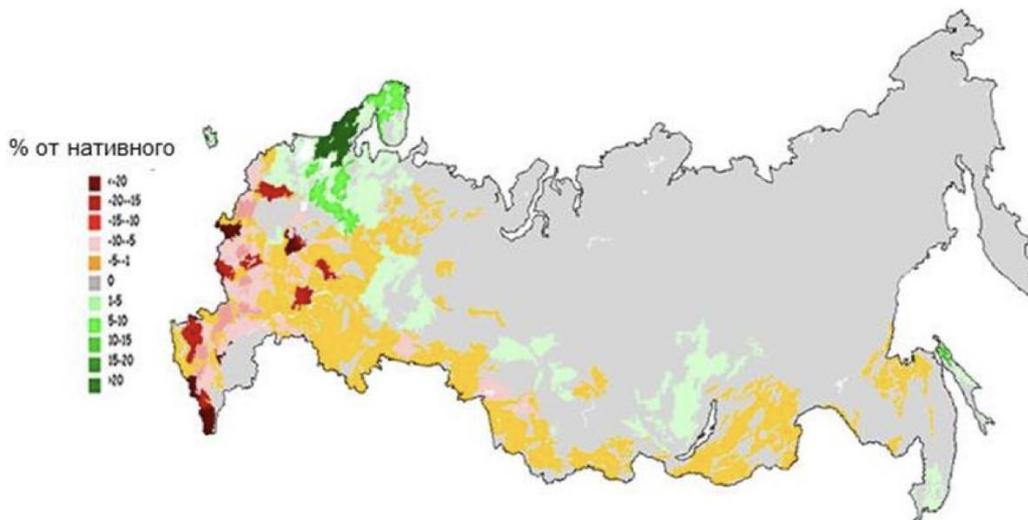


Рис. 1. Снижение запасов углерода в сельскохозяйственных почвах РФ. Желто-красными спектрами выделены районы снижения содержания почвенного органического углерода. Зеленым цветом показаны регионы повышения концентрации почвенного углерода. Серым тоном продемонстрированы регионы, не включенные в анализ (Stolbovoi, McCallum, 2002).

Fig. 1. Reduction of carbon stocks in agricultural soils of the Russian Federation. Yellow and red spectra highlight the regions of decreasing soil organic carbon content. Green color shows the regions with increased soil carbon concentration. The regions not included in the analysis are shown in gray (Stolbovoi, McCallum, 2002).

Факторами снижения запасов углерода в почве выступают технологии возделывания культур (85%) и эрозия (15%).

Основываясь на результатах анализа цифровой базы почвенных данных России, включая применение современных информационных технологий и оригинальных моделей ([Крылатов и др., 1998](#)), известно, что почвы пашни потеряли около 3.6 млрд тонн углерода из верхнего метрового слоя, и возвращение этого углерода в почву является условно-максимальным потенциалом инициативы “4 промилле” для Российской Федерации (табл. 2).

Таблица 2. Содержание органического углерода (ГтС) по слоям почв сельскохозяйственных земель

Table 2. The content of organic carbon (GtC) in different layers of agricultural soils

Использование	0–0.3 м				0–1.0 м			
	нативные	используемые	потеря	% от нативных	нативные	используемые	потеря	% от нативных
Пашня	13.47	10.84	2.63	20	22.60	19.02	3.58	16
Пастбища	6.37	5.92	0.45	7	10.02	8.92	1.10	11
Всего	19.84	16.75	3.09	16	32.61	27.94	4.68	14

На основании этих данных можно сделать вывод о том, что сельскохозяйственные почвы (пашня) потеряли около 16% запасов гумуса. Для сравнения: в западных странах этот же показатель достигает 50% и более ([Столбовой, 2018](#)).

Необходимо учитывать и другие конкурентные преимущества России в рассматриваемом аспекте, в частности изменения природно-климатических условий потенциального развития сельскохозяйственного производства и социума Нечерноземья. Так по прогнозам, сценариям Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), изменение продолжительности

волн холода и тепла становятся контрастными и усиливаются на всей территории Российской Федерации, включая Нечерноземье. При этом длительность волн холода сократится, а волн тепла – существенно увеличится. За 30–40 лет изменились в Нечерноземье и базовые показатели, которые считались “неизменяемыми”, такие как сумма эффективных температур ($>10\text{ }^{\circ}\text{C}$) и гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК). Они явно становятся более благоприятными. При этом на севере потепление более ярко выражено, чем на северо-востоке, особенный артефакт – Вологодская область ($\Sigma t^{\circ} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличилась на $380\text{ }^{\circ}\text{C}$, ГТК, соответственно, также улучшился ([“Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года”](#), 2021).

В аридных регионах ситуация сложнее, так многолетний мониторинг пастбищ северного Прикаспия показывает, что перевыпас привел к дигрессии степных фитоценозов и развитию дефляционных процессов на площади 1.3 млн га, из которых 0.4 млн га превратились в развеваемые ветром пески. Опустыниванием охвачена половина Сальских степей (Ростовская область), около 37 % территории Кулундинских степей в Алтайском крае, до 15 % равнинных территорий Республики Тыва. К настоящему времени достоверно известно, что значительная равнинная часть Дагестана и часть территории Калмыкии представляет собой наиболее крупные очаги антропогенного опустынивания в Европе.

В Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Самарской областях и в Республике Татарстан деградационные аридные земли занимают около 50 % их общей территории. Особым аспектом данной проблемы являются засухи, частота которых усиливается, а последствия ужесточаются. Судя по динамике “зеркала” грунтовой воды в Докучаевском колодце № 1, в Каменной степи, текущее состояние можно отнести к очередному катаклизму (рис. 2).

Такое падение, которое зарегистрировано в 2020 г., было отмечено накануне страшнейших засух в 30-х, в начале 40-х, в начале 50-х, и 2009–2020 гг.

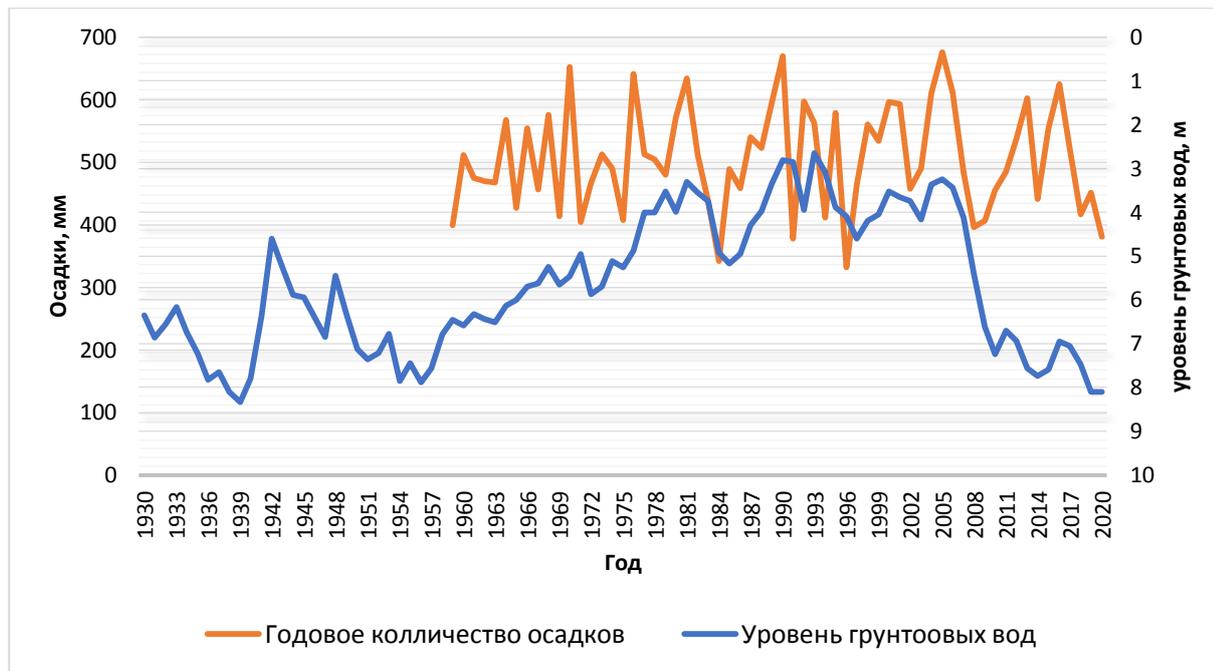


Рис. 2. Уровень воды в колодце № 1, Каменная степь.

Fig. 2. Water level in the well No. 1, Kamennaya steppe.

Также важно отметить и неудовлетворительное состояние озимых (более 40 % площади сева), а пересев 4–5 млн га еще никогда не приводил к увеличению сборов зерна ([Министерство сельского хозяйства РФ, 2020](#)).

В связи с этим, несмотря на некоторые иллюзорные благоприятные оценки, подчеркнем, что ресурсный потенциал земель для устойчивого производства продукции остается прежним (11.5 %) и расположен ниже 60-й параллели, начиная с зоны южной тайги. Кроме того, долговременная позитивная тенденция нивелируется возросшей нервозностью климата – повышением погодных рисков и снижением устойчивости сельскохозяйственного производства. Нужно отметить, однако, что уникальная географическая протяженность страны определяет устойчивость АПК России к погодно-климатическим рискам и именно эта территория (130 млн га) будет контролировать продовольственную безопасность Российской Федерации в ближайшей перспективе.

Контроль продовольственной безопасности страны очень важен в силу того, что диктат со стороны ЕС и др. стран в отношении России, подписавшей ряд конвенций, протоколов, ужесточился. Обсуждался, в частности, вопрос о создании “Киото-плантаций”, с выделением 1.5 млрд рублей, на сомкнутых лесных землях сельхозназначения. Запуск такого рода проектов недопустим, поскольку представляет собой прямую угрозу продовольственной безопасности страны.

По линии работы межведомственного экспертного совета “Глобальный климат и рациональное природопользование” (сельское и лесное хозяйство) Межведомственной рабочей группой при администрации Президента Российской Федерации по вопросам, связанным с изменением климата и обеспечением устойчивого развития, подготовлена серия Национальных докладов “Глобальный климат и почвенный покров России”, посвященных:

- оценке рисков, системам и технологиям адаптации ([Национальный доклад “Глобальный климат...”, 2018](#));

- опустыниванию и деградации земель, инфраструктурным, институциональным, технологическим мерам адаптации ([Национальный доклад “Глобальный климат...”, 2019](#));

- засухам в России ([Национальный доклад “Глобальный климат...”](#), 2021).

Кроме того, Комитетом Совета Федерации по агропродовольственной политике и природопользованию одобрены “Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года” (2021).

Такие документы являются базовыми для экономики, они уже отвечают на многие вопросы и, более того, дают возможность успешно их решать. Вместе с тем для реализации программных документов необходимо разработать и принять ряд поддерживающих нормативных правовых документов.

В первую очередь следует завершить работу по оформлению перечня индикаторов в части оценки деградации почв и земель, законодательному утверждению ряда определений, которыми пользуются в отчетах Правительства Российской Федерации, а также индикаторов целей устойчивого развития, гармонизированных с международными базами данных. Безусловной поддержки заслуживает инициатива Минобрнауки России и других ведомств по созданию сети “углеродных полигонов” (приказ Минобрнауки России от 05.02.2021 № 74 “О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса”). Необходимо разработать методики закладки и ведения наблюдений за продуктивностью экосистем на таких участках.

“Углеродный полигон” представляет собой специально оборудованный участок местности, используемый для разработки и испытаний технологий дистанционного и наземного контроля эмиссии парниковых газов и других значимых для изменения климата параметров, а также для проведения исследований по изучению источников и поглотителей парниковых газов с целью разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса.

“Углеродная ферма” – это структурное подразделение, где на практике применяются новые методы контроля углекислого газа, разрабатываются высокоэффективные технологии поглощения парниковых газов для создания экосистемы с внедрением этих технологий. Это должны быть высокопродуктивные агроэко-

стемы с регулируемым балансом углерода в почве, использующие современные инструменты биотехнологии, повышающие эффективность фотосинтеза и использования запасов минерального питания (из почвы и удобрений (минеральных, органических, биоудобрений и др.)) и депонирующие углерод в почве, пожнивных и корневых остатках.

Ферма будет считаться “успешной” в том случае, если прирост углерода в почве в результате новационного управления растительными и земельными ресурсами будет превышать его потери.

На сегодняшний день объем мировой торговли карбоновыми фьючерсами уже достиг более 100 млрд долларов, однако в течение следующего десятилетия ожидается его многократный рост, что сделает карбоновую отрасль одной из ведущих в глобальной экономике.

Для достоверного расчета углеродного баланса (антропогенного и природного) система национального мониторинга углерода должна включать стационарные подспутниковые наземные исследования, в том числе и почвенное опробование с опытными площадями для интенсивного и экстенсивного мониторинга динамики потоков углерода. Согласно недавнему отчету Европейской комиссии, все наземные системы должны иметь широкую полосу охвата и высокую частоту сканирования ([Национальный доклад “Глобальный климат...”](#), 2019). Также нужно учитывать какой объем парниковых газов выделяют различные биотопы в зависимости от видового состава и структуры растительных и животных сообществ, погодных условий, состава почв и множества других факторов.

В 2020 г. в границах Национального парка “Угра” Калужской области был создан прототип первого в стране карбонового полигона для разработки и испытаний технологий контроля эмиссии парниковых газов. В феврале 2021 г. Минобрнауки России запустило пилотный проект по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса (https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase_id=108077).

Предполагается, что карбоновые полигоны будут проводить разработку и адаптацию технологий дистанционного учета надземной и подземной фитомассы, ризосферы, агрохимического контроля почв и респирации парниковых газов, разработку и адаптацию математических моделей для первичной валовой продуктивности, первичной нетто-продуктивности, нетто-обмена CO₂ между экосистемой и атмосферой, респирации и для других параметров углеродного баланса экосистем на эталонных участках.

В 2021 г. углеродные полигоны будут созданы в Чеченской Республике, Краснодарском крае, Калининградской, Новосибирской, Свердловской, Тюменской и Сахалинской областях.

По мнению Министра науки и высшего образования Российской Федерации – В.Н. Фалькова, необходимо иметь не менее 80 карбоновых полигонов для создания российской системы мониторинга поглощения углерода.

Однако для внедрения технологий “улавливаний” углерода необходима разработка Единой методики, которая была бы признана мировым сообществом, а также Национальная система учета выбросов парниковых газов экосистемами. В Минобрнауки России подчеркивают важность и значимость разработки отечественной методики расчетов потоков диоксида углерода для исполнения Парижского соглашения.

Между тем необходимо отметить, что прецедент создания общепринятой методики оценки поглощения углерода уже есть (карбоновые полигоны в Италии), и что основное участие в его подготовке принимали российские почвоведы и географы. Приведем в качестве иллюстрации электронное письмо, направленное фермерами Европейского Союза в Европейское почвенное бюро. Необходимо учитывать, что фермеры серьезно воспринимают проблемы изменения климата, хотят участвовать в программах снижения концентрации парниковых газов и получать дополнительный бенефит от продажи углеродных квот ([Торговля выбросами парниковых газов..., 2017](#)). Кроме того, климатологи, при участии российских почвоведов, разработали модели учета углерода в почвах.

Эти подходы используют статистические методы, но статистически достоверное определение небольших изменений в со-

держании гумуса при огромных его запасах в почвах требует за-
 пределно больших объемов проб ([IPCC, Guidelines..., 2006](#)).

Ниже приведены базовые модели международного сообще-
 ства (IPCC) определения углерода в почвах.

1. Содержание углерода (кгС/м²; тС/га) в слое почвы

$$SCD_{site} = \sum_{layer=1}^{layer=j} (SOC_{content} * BulkDensit_y * Depth * (1 - frag))_{layer}$$

2. Запасы углерода (кгС; тС) в слое почвы участка

$$SOC_{refstock} = \left(\sum_{site=1}^{site=m} SCD / m \right) * A_{plot}$$

3. Изменение запасов (кгС; тС) в слое почвы участка

$$\Delta SOC_{stock} = SOC_{refstock} - SOC_{curstock} - f_{org} - f_{lim}$$

Стандартная методика, рекомендованная международным сообществом для оценки запасов углерода в почвах, в адаптированном виде должна применяться и в России. Важно, чтобы методика обеспечивала сопоставимость результатов учета парниковых газов между странами. На сегодняшний день учеными уже создана и предлагается принципиально новая основа землепользования, которая развивается в теорию и практику проектирования сельскохозяйственных ландшафтов, причем не только агроландшафтов, но и водохозяйственных, мелиоративных, рекреационных, животноводческих, агропромышленных, селитебных и других отраслей. Однако необходимо учитывать и тот факт, что ни в России, ни в международной практике нет согласованной и утвержденной нормативной правовой базы и методологии использования данных дистанционного зондирования для учета, контроля и применения правомочных управленческих решений. Без этого все рекомендации, в основу которых положены данные дистанционного зондирования Земли, нелегитимны, даже если и верны. Более того, на такой информации часто строится государственная и ведомственная страховая, кредитная и субсидиарная политика. Хотя для конкретных аналитических оценок нужна конкретная спутни-

ковая конфигурация, регламентирование числа залетов и предоставление информации.

Использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для количественной оценки углеродного баланса – очень сложный, но хорошо известный процесс. Метод объединяет подробную информацию о земном покрове с наземными наблюдениями почвенного кадастра ([Sanga-Ngoie et al., 2012](#)). Методы учета секвестрации углерода в почве можно провести с использованием отечественных или зарубежных ДДЗ (спутников). К примеру, одним из популярных продуктов для косвенного измерения органического углерода в почве является спектрорадиометр среднего разрешения (MODIS), который позволяет получить снимки с хорошим временным разрешением ([Turner et al., 2006](#)). Однако в зависимости от потребности использование системы MODIS может быть неудовлетворительным, поскольку пространственное разрешение 1 км на 1 км слишком “грубое”, особенно для учета секвестрации углерода в региональном масштабе, и, соответственно, пространственное разрешение в 1 км не может точно определить реальную местную среду. В региональном масштабе для анализа обычно используются изображения с высоким разрешением, такие как Landsat (Operational Land Imager – OLI), которые применяют для оценки точных значений содержания органического углерода и выделения деталей в типах почвенного покрова ([USGS, Landsat Science Products](#)). Landsat, по сравнению с MODIS, обеспечивает гораздо более высокое пространственное разрешение (30 м), что позволяет определить неоднородность природной среды, однако это влечет за собой фундаментальную проблему использования оптических изображений из-за облачного покрова ([Wang et al., 2015](#)). Изображения с высоким пространственным разрешением имеют более низкое временное разрешение, и иногда бывает трудно собрать ДДЗ без облачности с помощью всего нескольких наблюдений. Если сравнивать отечественный продукт (спутник Канопус-В) с зарубежными аналогами (Landsat, MODIS) для учета секвестрации углерода, то можно получить сопоставимые оценки соответствия базовых продуктов ([Васильев и др., 2018](#)). Использование отечественных или зарубежных спутниковых систем (методов) для Национальной системы учета секвестрации органического

го углерода имеет свои положительные и отрицательные стороны. При использовании отечественных спутников существует недоверие к полученным данным со стороны ЕС и США, при использовании зарубежных – есть риски недоучета реальной оценки углеродного показателя. В таблице 3 приведено краткое описание платформ дистанционного зондирования для мониторинга органического углерода в почве с точки зрения преимуществ и недостатков.

Главный недостаток использования спутника для учета секвестрации углерода состоит в том, что оценки ограничены для нескольких “первых” сантиметров верхнего слоя почвы, хотя информация о нижних слоях также имеет решающее значение для полного учета органического вещества ([Гюрин, 1965](#)). Эффективность беспилотного летательного аппарата (БПЛА) ограничена продолжительностью полета и грузоподъемностью, следовательно, спектральный диапазон устанавливаемых датчиков также ограничен, так как коротковолновые и инфракрасные датчики довольно тяжелые ([Theodora et al., 2019](#); [Iizuka, Tateishi, 2015](#)). Определение наиболее важных длин волн для оценки органического углерода в почве может привести к использованию гиперспектральных датчиков небольшого размера, которые можно использовать для конкретных приложений. Также существует необходимость интеграции ДДЗ, полученных портативными спектрометрами на месте, чтобы разработать целостный подход, способный преодолеть вышеупомянутые препятствия.

В Федеральном исследовательском центре “Почвенный институт им. В.В. Докучаева” создан Ситуационный аналитический центр “Почвенные и земельные ресурсы России”, позволяющий обобщать и актуализировать информацию о состоянии почв и земель Российской Федерации с использованием спутниковой группировки (табл. 4), который вполне возможно использовать при наличии соответствующей нормативно-правовой базы в целях получения регулярных, полных и достоверных оценок поглощения парниковых газов и принятия управленческих и прикладных решений.

Таблица 3. Суммарное описание различных платформ ДДЗ для мониторинга органического углерода в почве
Table 3. Overview of different remote sensing data platforms for soil organic carbon monitoring

Платформа	Преимущества	Недостатки
Спутники	<ul style="list-style-type: none"> • Получение информации о верхнем слое почвы с больших площадей • Предоставление информации для сложно-доступных областей • Последовательно-временное разрешение для создания временных циклов • Короткое время для повторного учета 	<ul style="list-style-type: none"> • Атмосферные поглощения, мешающие спектральным измерениям • Низкое соотношение сигнал/шум из-за короткого времени интегрирования по целевой области • Необходимость геометрических и атмосферных корреляций
Гиперспектральная съемка с воздуха	<ul style="list-style-type: none"> • Предоставление информации для труднодоступных районов • Мало инструментов для обработки изображений, однако они становятся все более доступными в диапазоне 1 000–2 500 нм • Высокое пространственное разрешение 	<ul style="list-style-type: none"> • Предоставление информации для труднодоступных районов • Необходимость определенных метеорологических условий для приложений дистанционного зондирования • Ограничение измерений только в тонком слое верхнего слоя почвы • Юридические ограничения для полетов • Высокая операционная сложность • Высокая цена
Беспилотные воздушные системы	<ul style="list-style-type: none"> • План полета может быть составлен в соответствии с погодными условиями • Высокое пространственное разрешение 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограниченная продолжительность полета • Необходимость атмосферных и геометрических поправок • Юридические ограничения для полетов

Таблица 4. Потребность в спутниковых данных для функционирования Ситуационного аналитического центра “Почвенные и земельные ресурсы России”

Table 4. Demand for satellite data required by the Situational Analytical Center “Soil and Land Resources of Russia”

Тип данных	Пространственное разрешение	Временное разрешение	Территория съемки	Подходящие сенсоры и платформы на 2021 г.
Видимые – ИК	1–5 км	15 мин – 1 час	Глобально, вся территория страны	MSG3-4 (ESA), Электро-Л, (Роскосмос, Росгидромет, НПО “Планета”)
Гравитационное поле	1 градус	1 месяц	Глобально, вся территория страны	GRACE (NASA, DLR)
Микроволновые	1–25 км	1 день	Глобально, вся территория страны	SMOS, Sentinel-1, SAR, SMAR

Продолжение **таблицы 4**
Table 4 continued

Мультиспектральные	250 м	1 день	Глобально, вся территория страны	MODIS
Мультиспектральные	10–30 м	5–15 дней	Вся территория страны	Landsat, Sentinel-2
Гиперспектральные	10–30 м	5–15 дней	Отдельные участки	Zhuhai-1, PRISMA, Gaofen-5, Ресурс-П (НЦ ОМЗ “ПКС”)
Мультиспектральные, панхроматические	0.3–2 м	По запросу (2–3 раза в год)	Отдельные участки	WorldView-3, WorldView-2, Ресурс-П (Роскосмос), поставка “Совзонд”, “Сканекс”

В развиваемых сегодня и эффективно реализуемых проектах ландшафтного земледелия агротехнологическая дифференциация корректируется с учетом тепло- и влагообеспеченности культур, крутизны и экспозиции склонов, гидрогеологических, микро- и мезоклиматических параметров и других условий. Иначе говоря, новые агротехнологии и системы земледелия уже соотнесены с новейшими представлениями о глобальных изменениях климата и с развитием смежных фундаментальных и прикладных наук.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание, что почвы Российской Федерации содержат в 6 раз больше углерода, чем растительность, учет вклада почв как базового компонента (статьи) баланса углерода страны оправдан, целесообразен и требует скорейшего количественного описания.

В целях ускорения разработки доказательной базы в российской системе мониторинга поглощения углерода и принятия мировым сообществом отечественных методик расчета поглощения диоксида углерода необходимо сконцентрировать усилия на следующих направлениях:

- расширить участие ведущих Федеральных научно-исследовательских и научно-образовательных центров в разработке методологии, организации и проведении работ на “карбоновых полигонах” и “карбоновых фермах” для количественного определения потоков углерода в экосистемах;
- создать единую Национальную методику расчетов потоков диоксида углерода на землях сельскохозяйственного назначения с учетом типов почв, категорий земель сельхозназначения, агроэкологической оценки культур, направлений хозяйственной деятельности для разных почвенно-климатических зон страны, согласованную с мировой нормативно-правовой практикой;
- создать нормативную правовую базу использования возможностей дистанционного зондирования Земли в целях получения регулярных, полных и достоверных оценок поглощения парниковых газов и принятия управленческих и прикладных

решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев А.И. и др.* Методика сопоставления базовых продуктов МСС КА “Канопус-В” и OLI/ETM+ Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 4. С. 36–48.
2. *Иванов А.Л., Столбовой В.С.* Инициатив “4 промилле” – новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 185–202. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-98-185-202](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202).
3. Карбоновые полигоны. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. URL: https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase_id=108077.
4. *Крылатов А.К. и др.* Динамика баланса гумуса на пахотных землях Российской Федерации. М.: Госкомзем России, 1998. 60 с.
5. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)” / под ред. *А. И. Бедрицкого*. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, ГЕОС. 2018. 357 с.
6. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. *Р.С.-Х. Эдельгериева*. Т. 2. М.: Изд-во МБА, 2019. 476 с.
7. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. *Р.С.-Х. Эдельгериева*. Т. 3. М.: Изд-во МБА, 2021. 820 с.
8. Посевная площадь озимых культур в 2020 году составит порядка 19 млн га. Министерство сельского хозяйства РФ. URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/posevnaya-ploshchad-ozimyx-kultur-v-2020-godu-sostavit-poryadka-19-mln-ga/>.
9. “Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий в Нечерноземной зоне России до 2030 года”. Версия 2.0. М: ООО “Издательство МБА”, 2021, 400 с.

10. Седьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. М.: 2017. 348 с. URL: https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf.
11. *Столбовой В.С.* Углерод пахотных почв России в стратегии смягчения изменений климата // Современные тенденции в научном обеспечении АПК Верхневолжского региона. 2018. С. 356–363.
12. Торговля выбросами парниковых газов по всему миру: Ежегодный отчет 2017. Берлин: ICAP. URL: https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=444.
13. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почв и его роль в плодородии почв. М.: Наука, 1965. 319 с.
14. *Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Мусеев Б.Н., Страхов В.В.* Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2016. № 3. С. 36–85. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>.
15. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. 2012.
16. *Iizuka K., Tateishi R.* Estimation of CO₂ Sequestration by the Forests in Japan by Discriminating Precise Tree Age Category using Remote Sensing Techniques // Remote Sensing. 2015. Vol. 7. Iss. 11. 15082-15113. DOI: [10.3390/rs71115082](https://doi.org/10.3390/rs71115082).
17. *Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink GBM, Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A. et al.* Soil Grids 250 m: Global gridded soil information based on machine learning // PLoS ONE. 2017. Vol. 12. Iss. 2. e0169748. DOI: [10.1371/journal.pone.0169748](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748).
18. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Geneva. 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
19. *Ivanov A., Stolbovoy V., Petrosian R.* The Initiative of 4 % in perspective from Russia, In: Food security and climate change: 4 per 1000 initiative new tangible global challenges for the soil. Poitiers (France). 2019. 46 p. URL: <https://symposium.inra.fr/4p1000>.
20. *Lugato E., Ctscatti A., Jones A., Ceccherini G., Duveiller G.* Maximising climate mitigation potential by carbon and radiative agricultural land management with cover crops // Environmental Research Letters. 2020. Vol. 15. No. 9. 094075. DOI: [10.1088/1748-9326/aba137](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba137).

21. *Nelson D.W., Sommers L.E.* Total carbon, organic carbon and organic matter, In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 1982. P. 539–579.
22. *Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M.* Full Carbon Account for Russia. Interim Report. IR-00–021. International Institute for Applied Systems Analysis. Laxenburg. Austria. 2000. 180 p.
23. *Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J.* Soil carbon debt of 12,000 years of human land use // *PNAS.* 2017. Vol. 114 (36). 9575–580. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>.
24. *Sanga-Ngoie K., Iizuka K., Kobayashi S.* Estimating CO₂ sequestration by forests in Oita Prefecture, Japan, by combining Landsat ETM+ and ALOS satellite remote sensing data // *Remote Sensing.* 2012. Vol. 4. Iss. 11. P. 3544–3570. DOI: [10.3390/rs4113544](https://doi.org/10.3390/rs4113544).
25. *Savin I., Stolbovoy V.* Soils of Russia – GlobalSoilMap Perspective. Proc. GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System – Proc. of the 1st GlobalSoilMap Conference. 2014. P. 47–50.
26. *Schlesinger W.* Carbon Sequestration in Soils // *Science.* 1999. Vol. 284. Iss. 5423. P. 137.
27. *Stolbovoi V.I., McCallum I.* Land Resources of Russia. Laxenburg. IIASA, RAS. 2002. URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia_cd/lcov_des.htm.
28. *Theodora A., Nikolas T., Athanasios B.* Remote Sensing Techniques for soil Organic Carbon Estimation: A Review // *Remote Sensing.* 2019. Vol. 11. Iss. 6. 676. DOI: [10.3390/rs11060676](https://doi.org/10.3390/rs11060676).
29. *Turner D.P., Ritts W.D., Cohen W.B., Gower S.T., Running, S.W., Zhao M., Costa M.H., Kirschbaum A.A., Ham J.M., Saleska S.R. et al.* Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes // *Remote Sens. Environ.* 2006. Vol. 102. P. 282–292.
30. USGS. Landsat Science Products. URL: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-science-products?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con.
31. *Wang J., Li C.* Adaptively weighted decision fusion in 30 m land-cover mapping with Landsat and MODIS data // *International Journal of Remote Sensing.* 2015. Vol. 36. Iss. 14. P. 3659–3674.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.I. et al., Metodika sopolavleniya bazovykh produktov MSS KA “Kanopus-V” i OLI/ETM+ Landsat (Comparison of the basic products of the MSS of the Kanopus-V and OLI/ETM+ Landsat), *Sovremennyye problemy*

distantсионного зондирования Земли из космоса, 2018, Vol. 15, No. 4, pp. 36–48.

2. Ivanov A.L., Stolbovoy V.S., The Initiative “4 per 1000” – a new global challenge for the soils of Russia, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 98, pp. 185–202, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-98-185-202](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202).

3. Carbon polygons. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. URL: https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/index.php?sphrase_id=108077.

4. Krylatov A.K. et al., *Dinamika balansa gumusa na pakhotnykh zemlyakh Rossiiskoi Federatsii* (Dynamics of the balance of humus on arable lands of the Russian Federation), Moscow: Goskomzem Rossii, 1998, 60 p.

5. *National report* “Global climate and soil cover in Russia: assessment of risks and ecological and economic consequences of land degradation. Adaptive systems and technologies for rational use of natural resources (agriculture and forestry)”, A.I. Bedritsky (ED.). Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, GEOS, 2018, 357 p.

6. *National report* “Global climate and soil cover in Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)”, R.S.-H. Edelgeriev, Vol. 2, Moscow: Izd-vo MBA, 2019, 476 p.

7. *National report* “Global climate and soil cover of Russia: manifestations of drought, preventive measures, control, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)”, R.S.-H. Edelgeriev (Ed.), Vol. 3, Moscow: Izd-vo MBA, 2021, 820 p.

8. *Posevnaya ploshchad' ozimyykh kul'tur v 2020 godu sostavit poryadka 19 mln ga. Ministerstvo sel'skogo khozyaistva RF* (The sown area of winter crops in 2020 will be about 19 million hectares. Ministry of Agriculture of the Russian Federation), URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/posevnaya-ploshchad-ozimyykh-kultur-v-2020-godu-sostavit-poryadka-19-mln-ga/>.

9. “*Rekomendatsii po razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa i sel'skikh territorii v Nechernozemnoi zone Rossii do 2030 goda*”. Versiya 2.0 (“Recommendations for the development of the agro-industrial complex and rural areas in the Non-Chernozem Zone of Russia until 2030”. Version 2.0), Moscow: OOO “Izdatel'stvo MBA”, 2021, 400 p.

10. Seventh national communication of the Russian Federation submitted in accordance with Articles 4 and 12 of the United Nations Framework Convention on Climate Change and Article 7 of the Kyoto Protocol, Moscow: 2017, 348 p. URL:

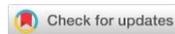
https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/application/pdf/20394615_russian_federation-nc7-1-7nc.pdf.

11. Stolbovoi V.S., Uglерod pakhotnykh pochv Rossii v strategii smyagcheniya izmenenii klimata (Carbon of arable soils in Russia in the climate change mitigation strategy), *Sovremennye tendentsii v nauchnom obespechenii APK Verkhnevolskogo regiona*, 2018, pp. 356–363.
12. *Trading Greenhouse Gas Emissions Worldwide: Annual Report 2017*. Berlin: ICAP. URL: https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=444.
13. Tyurin I.V., *Organicheskoe veshchestvo pochv i ego rol' v plodorodii pochv* (Soil organic matter and its role in soil fertility), Moscow: Nauka, 1965, 319 p.
14. Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseev B.N., Strakhov V.V., Analiticheskii obzor metodik ucheta vybrosov i pogloshcheniya lesami parnikovyykh gazov iz atmosfery (), *Lesokhoz. inform.: elektron. setevoi zhurn.*, 2016, No. 3, pp. 36–85, URL: <http://lbi.vniilm.ru/>.
15. FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*, FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, 2012.
16. Iizuka K., Tateishi R., Estimation of CO₂ Sequestration by the Forests in Japan by Discriminating Precise Tree Age Category using Remote Sensing Techniques, *Remote Sensing*, 2015, Vol. 7, Iss. 11, 15082–15113, DOI: [10.3390/rs71115082](https://doi.org/10.3390/rs71115082).
17. Hengl T., Mendes de Jesus J., Heuvelink GBM, Ruiperez Gonzalez M., Kilibarda M., Blagotić A. et al., Soil Grids 250 m: Global gridded soil information based on machine learning, *PLoS ONE*, 2017, Vol. 12, Iss. 2, e0169748, DOI: [10.1371/journal.pone.0169748](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748).
18. IPCC. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Geneva, 2006, URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.
19. Ivanov A., Stolbovoy V., Petrosian R., The Initiative of 4 % in perspective from Russia, In: *Food security and climate change: 4 per 1000 initiative new tangible global challenges for the soil*, Poitiers (France), 2019, 46 p., URL: <https://symposium.inra.fr/4p1000>.
20. Lugato E., Ctscatti A., Jones A., Ceccherini G., Duveiller G., Maximising climate mitigation potential by carbon and radiative agricultural land management with cover crops, *Environmental Research Letters*, 2020, Vol. 15, No. 9, 094075, DOI: [10.1088/1748-9326/aba137](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba137).
21. Nelson D.W., Sommers L.E., Total carbon, organic carbon and organic matter, In: *Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 1982, pp. 539–579.

22. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M., *Full Carbon Account for Russia*, Interim Report. IR-00–021, Laxenburg, IIASA, 2000, 180 p.
23. Sanderman J., Hengl T., Fiske G.J., Soil carbon debt of 12,000 years of human land use, *PNAS*, 2017, Vol. 114 (36), 9575–580, DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>.
24. Sanga-Ngoie K., Iizuka K., Kobayashi S., Estimating CO₂ sequestration by forests in Oita Prefecture, Japan, by combining Landsat ETM+ and ALOS satellite remote sensing data, *Remote Sensing*, 2012, Vol. 4, Iss. 11, pp. 3544–3570, DOI: [10.3390/rs4113544](https://doi.org/10.3390/rs4113544).
25. Savin I., Stolbovoy V., Soils of Russia – GlobalSoilMap Perspective. *Proc. GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System – Proc. of the 1st GlobalSoilMap Conference*, 2014, pp. 47–50.
26. Schlesinger W., Carbon Sequestration in Soils, *Science*, 1999, Vol. 284, Iss. 5423, 137 p.
27. Stolbovoi V.I., McCallum I., *Land Resources of Russia*, Laxenburg, IIASA, RAS, 2002, URL: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia_cd/lcov_des.htm.
28. Theodora A., Nikolas T., Athanasios B., Remote Sensing Techniques for soil Organic Carbon Estimation: A Review, *Remote Sensing*, 2019, Vol. 11, Iss. 6, 676, DOI: [10.3390/rs11060676](https://doi.org/10.3390/rs11060676).
29. Turner D.P., Ritts W.D., Cohen W.B., Gower S.T., Running, S.W., Zhao M., Costa M.H., Kirschbaum A.A., Ham J.M., Saleska S.R. et al., Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes, *Remote Sens. Environ.*, 2006, Vol. 102, pp. 282–292.
30. USGS, Landsat Science Products, URL: https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-science-products?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con.
31. Wang J., Li C., Adaptively weighted decision fusion in 30 m land-cover mapping with Landsat and MODIS data, *International Journal of Remote Sensing*, 2015, Vol. 36, Iss. 14, pp. 3659–3674.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-33-60



Ссылки для цитирования:

Панкова Е.И., Голованов Д.Л., Соловьев Д.А., Ямнова И.А. История формирования и особенности почвенно-литолого-геоморфологического строения Джизакской степи как основа ее природного районирования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 33-60. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-33-60

Cite this article as:

Pankova E.I., Golovanov D.L., Soloviev D.A., Yamnova I.A., The history of the forming and the features of the soil, lithological and geomorphological structure of the Jizzakh steppe as the basais for its natural zoning, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 33-60, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-33-60

История формирования и особенности почвенно-литолого-геоморфологического строения Джизакской степи как основа ее природного районирования

© 2021 г. Е. И. Панкова^{1*}, Д. Л. Голованов^{2**}, Д. А. Соловьев¹,
И. А. Ямнова^{1***}

¹ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,

* e-mail: pankova22@mail.ru,

*** e-mail: irinayamnova@mail.ru.

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1,

** <https://orcid.org/0000-0003-0967-4178>, e-mail: dm_golovanov@mail.ru.

Поступила в редакцию 09.03.2021, после доработки 12.04.2021,
принята к публикации 16.06.2021

Резюме: В статье приводятся исходные материалы, характеризующие сложную историю формирования, природные почвенные и литолого-геоморфологические условия Джизакской степи до начала ее мелиоративного освоения. Показано, что на основе почвенно-литолого-геоморфологического районирования Джизакская степь делится на ряд природных районов, относящихся к разным ступеням (высотным

уровням) подгорной равнины. Всего в пределах Джизакской степи, включая предгорное обрамление, выделено 22 района. На самой подгорной равнине районы объединены в два высотных уровня: верхняя ступень и нижняя ступень, или шлейфовая зона. Эти два уровня резко различаются по условиям дренированности и засоленности почв. Верхний уровень, охватывающий верхнюю и среднюю части конусов выноса, высокую межконусную Заамино-Санзарскую равнину и Ломакинское плато, благодаря относительно хорошей дренированности характеризуется слабым проявлением засоления, за исключением логообразных понижений Ломакинского плато. Нижний уровень, расположенный в шлейфовой зоне подгорной равнины, в отличие от верхнего уровня, из-за слабой дренированности характеризуется активным природным засолением. Засоленные отложения шлейфа Зааминского конуса выноса характеризуются наибольшей мощностью. В меньшей степени засолены породы шлейфа Санзарского конуса, которые дренируются глубокими саями. Для Хавастской наклонной равнины характерен очень сильно засоленный верхний двухметровый слой, с глубиной содержание солей и гипса снижается. Таким образом, показано, что высокая засоленность и гипсоносность пород, а также высокая минерализация грунтовых вод шлейфовой зоны являются источником современного соленакопления в почвах подгорной Голодностепской равнины, и в том числе в почвах шлейфовой зоны Джизакской степи.

Ключевые слова: литолого-геоморфологическое строение, Джизакская степь, засоление, гипсоносность, антропогенные изменения почв.

The history of the forming and the features of the soil, lithological and geomorphological structure of the Jizzakh steppe as the basais for its natural zoning

© 2021 E. I. Pankova^{1*}, D. L. Golovanov^{2**},
D. A. Soloviev¹, I. A. Yamnova^{1***}

¹Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,

* e-mail: pankova22@mail.ru,

*** e-mail: irinayamnova@mail.ru.

²*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
** <https://orcid.org/0000-0003-0967-4178>, e-mail: dm_golovanov@mail.ru.*

Received 09.03.2021, Revised 12.04.2021, Accepted 16.06.2021

Abstract: The paper provides initial materials characterizing the complicated history of formation, natural soils and lithological-geomorphological conditions of the Jizzakh steppe before the beginning of reclamation development. It is shown that on the basis of soil-lithological and geomorphological zoning, the Jizzakh steppe is divided into a number of natural regions belonging to different levels (altitude levels) of the piedmont plain. In total, 22 districts have been identified within the Jizzakh steppe, including the foothill margins. On the piedmont plain itself, the regions are combined into two high-altitude levels: the upper step and the lower step or blanket zone. These two levels differ sharply in terms of drainage conditions and soil salinity. The upper level, covering the upper and middle parts of the alluvial fan, the high interconal Zaamin-Sanzar plain and the Lomakino plateau, is characterized by a weak manifestation of salinity due to relatively good drainage, except for the sloping depressions of the Lomakino plateau. In contrast to the upper level, the lower level, located in the blanket zone of the piedmont plain, is characterized by active natural salinization because of the poor drainage. The saline sediments of the Zaamin cone delta are characterized by the greatest thickness. To a lesser extent, the rocks of the Sanzar cone delta, which are drained by deep gullies, are salinized. The Khavast sloping plain is characterized by a strongly saline upper two-meter layer, with salt and gypsum content decreasing with depth. Thus, it is shown that high salinity and gypsum bearing rocks, as well as high groundwater salinity of the cone delta zone are the source of modern salt accumulation in soils of foothill Golodnostepskaya plain, as well as in soils of the cone delta zone of Djizak steppe.

Keywords: lithological and geomorphological structure, Jizzakh steppe, salinization, gypsum content, anthropogenic changes in soils.

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы. Джизакская степь расположена на подгорной равнине Туркестанского хребта. Это объект современного орошения, освоение которого началось в 70-х годах XX в. ([Атлас..., 2010](#)). В настоящее время этот объект привлекает внимание исследователей для выявления изменений, которые проявились в результате оросительных мелиораций ([Холбоев, Намозов, 2017](#);

[Шеримбетов, 2019](#); [Кренке, 2019](#)). В новейших работах отмечается дефицит материалов, характеризующих исходное состояние засоления почв Джизакской области. Почвенный институт имени В.В. Докучаева, работавший в Джизакской степи в конце XX в., располагает такими материалами. Поэтому мы сочли возможным подготовить к публикации статью по материалам, полученным нами в 70-х годах XX в.

В статье рассмотрены история формирования и особенности почвенно-литолого-геоморфологического строения территории Джизакской степи. Эти материалы могут стать основой для анализа изменений засоленности почв Джизакской степи в результате орошения с учетом почвенно-литолого-геоморфологических особенностей природных районов Джизакской степи.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись почвы, их засоление и гипсоносность в пределах основных литолого-геоморфологических районов Джизакской степи. В статье рассмотрена история формирования, литолого-геоморфологическое строение районов и характерные особенности развитых здесь почв. При этом использовались как полевой сравнительно-географический метод исследования, включающий почвенно-геоморфологическое профилирование и гидрогеологическое бурение, так и анализ аэрофотоматериалов, опубликованных и архивных геолого-геоморфологических карт, морфометрический анализ топографических карт. Последующие стандартные лабораторные исследования почв и вод, их интерпретация позволили создать почвенно-литолого-геоморфологическую карту Джизакской степи с характеристикой засоления и гипсоносности почв ([Панкова, 1982](#); [Панкова, Мурадова, 1990](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Местоположение и структурная позиция Джизакской степи. Джизакская степь занимает верхнюю часть Голодно-степской подгорной равнины, примыкая к северному склону западной части Туркестанского хребта. Известно, что подгорные

наклонные аккумулятивные равнины, расположенные у подножья гор, образуются за счет слияния делювиально-пролювиальных шлейфов и пролювиально-аллювиальных конусов выноса и генетически связаны с горной системой, к которой они примыкают ([Щукин, 1983](#)).

Для подгорных равнин характерно общее уменьшение уклонов поверхности в направлении от гор к верхней ступени подгорной равнины, где пологоволнистый рельеф обусловлен чередованием приподнятых поверхностей конусов выноса и слегка пониженных межконусных депрессий, и далее к относительно выровненной шлейфовой зоне – нижней ступени подгорной равнины.

В структурном отношении подгорная равнина приурочена к области контакта (шву) двух структурных единиц – гор и равнины. Подгорная равнина отделена от гор и предгорий более или менее четко выраженным в рельефе уступом. Периферийные ее части, постепенно выполаживаясь, смыкаются с более низкими уровнями, часто представляющими собой аллювиально-террасовый комплекс или озерные депрессии. Материал, слагающий подгорную равнину, представлен продуктами разрушения гор и предгорий, к которым примыкает равнина. Грунтовые воды подгорной равнины генетически связаны с водами, стекающими с гор.

Таким образом, подгорная равнина – это область аккумуляции материалов, выносимых с гор и представленных как твердым стоком, так и продуктами геохимического стока.

Распределение выносимого материала в пределах зоны аккумуляции строго закономерно и обусловлено общим уклоном поверхности, особенностями строения равнины, связанными с чередованием конусов выноса и межконусных депрессий.

Верхняя часть подгорной равнины, переходящая в предгорья, слагается преимущественно щебнисто-галечниковым материалом, ниже по уклону сменяющимся более тяжелыми суглинистыми отложениями. Геохимический сток также дифференцируется по уклону. В зоне конечной аккумуляции накапливаются, главным образом, наиболее подвижные соли.

Однако существующие закономерности часто нарушаются при формировании территории подгорных равнин из-за разной

интенсивности тектонических и спровоцированных ими денудационных процессов. В ходе формирования горной системы, в результате тектонических движений поднимаются примыкающие к горам подгорные равнины, образуя серию “ступеней” – предгорную лестницу ([Ренк, 1924](#); [Пенк, 1961](#); [Варсанофьева, 1932](#); [Скворцов, 1949, 1957](#); [Егоров, 1970, 1977](#) и др.). При этом территории, бывшие длительное время областями аккумуляции, могут становиться областями денудации. Они размываются, их делювий отлагается и накапливается на более низких уровнях. Наиболее интенсивно размываются приподнятые конусы выноса, которые могут прорезаться новыми руслами. Иногда они настолько энергично разрушаются, что очень быстро могут почти полностью исчезнуть, либо превратиться в единичные останцы, возвышающиеся над поверхностью вновь образованных молодых конусов выноса. В свою очередь, отложения эрозионных промоин, прорезавших и расчленивших поверхность древних конусов, аккумулируются в их нижней части, погребая более древние наносы. Размыв и переротложение материала, слагавшего ранее существующие подгорные равнины, значительно осложняют общую классическую схему строения подгорных равнин и формируют индивидуальные черты любой аналогичной поверхности, объяснить которые можно, лишь изучив ее историю.

Голодностепская подгорная равнина в целом обладает типичными для подгорных равнин Средней Азии чертами. В верхней части Голодностепской подгорной равнины расположена Джизакская степь, история формирования которой определила некоторую специфику ее строения.

Территория Голодной степи в целом представляет собой обширную межгорную впадину, окаймленную Туркестанскими, Кураминскими и Чаткальскими горами. Фундамент ее дна и склонов сложен коренными породами и перекрыт мощной толщей отложений, сносимых с окружающих гор реками Сыр-Дарья, Ангрен, Чирчик, Санзар, Зааминсу, Хавастсай и других. Голодностепская подгорная равнина является южным крылом этой межгорной впадины. Рыхлые отложения подгорной равнины представлены, главным образом, материалами, сносимыми с Туркестанского хребта.

История формирования. История формирования Голодно-степской подгорной равнины неразрывно связана с геологической историей всей Средней Азии. На протяжении длительного геологического времени на территории Средней Азии (включая и район исследования) существовал обширный морской бассейн, размеры и конфигурация которого неоднократно менялись ([Герасимов, Марков, 1939](#); [Марков, 1986](#)). В девоне в результате герцинского орогенеза резко усилилась вулканическая деятельность, началась морская регрессия, и на месте Чаткальских, Ферганских гор и Туркестанского хребта образовались острова суши. Отложения этого возраста представлены сланцами, известняками, песчаниками. К концу перми вся территория Узбекистана стала сушей. В триасе начинается новая трансгрессия, продолжавшаяся в течение всего мезозоя и достигшая максимальных размеров в палеогене. В это время вся территория Средней Азии вновь покрыта морем, среди которого поднимались лишь отдельные острова суши. В этот период в морских бассейнах идет накопление соленосных, песчано-глинистых пестроцветных отложений ([Наливкин, 1936](#); [Федорович, 1946](#); [Перельман, 1975](#)). Только в неогене начинается энергичный горообразовательный процесс (альпийский орогенез). Море отступает, и на его месте вначале остаются мелкие бассейны лагунного типа, а затем формируется озерная равнина, которая постепенно высыхает. С неогена начинается континентальный период развития территории, который продолжается до настоящего времени. С этого же времени начинает формироваться современный рельеф. Зоны поднятия превращаются в области интенсивной денудации, а в понижениях накапливается выносимый с гор материал.

В неоген-четвертичное время энергия сноса и аккумуляции отложений колеблется в зависимости от тектонического режима и колебаний климатических условий. Наряду с процессами сноса и аккумуляции твердого материала активизируется процесс соле-накопления. В плиоцене зона горообразования расширяется, в нее вовлекаются мощные конусы олигоценного возраста. Они поднимаются на высоту до 1 000 и более метров и подвергаются интенсивной денудации.

Таким образом, в четвертичное время происходит процесс

втягивания подгорных равнин в общее поднятие территории, переход их в предгорья и, соответственно, постепенное смещение к северу зон погружения и аккумуляции. Этот процесс, начавшийся в неогене, продолжается и в настоящее время. Он присущ всем подгорным равнинам Средней Азии и отчетливо прослеживается на территории Голодностепской подгорной равнины.

Судя по Карте новейшей тектоники (1966) и Тектонической карте Узбекистана (2004), территория изучаемого нами района за неоген-четвертичное время испытала следующие изменения: окраины гор поднялись на 1 000–2 000 м, центральная часть Голодной степи опустилась примерно на 500 м. В результате постепенного поднятия зоны бывлой аккумуляции превратились в области денудации и образовали расчлененные ступени предгорий, отчетливо выраженные в рельефе территорий, обрамляющих Голодностепскую подгорную равнину. История развития и особенности строения Голодностепской подгорной равнины освещены в работах Юрьева (1960), Туляганова (1971) и др.

Литологическая характеристика отложений. Четвертичные отложения Голодной степи делятся на четыре комплекса: сохский (или нанайский), ташкентский, голодностепский, сырдарьинский (Скворцов, 1949; Васильковский, 1951). Общая мощность четвертичных отложений варьирует от 100 м (на западе) и до 1 000 м в восточной части Голодной степи. В средней части Голодной степи четвертичные отложения характеризуются мощностью 200–300 м.

Наиболее древним горизонтом антропогена (Q1) является сохский (нанайский), отложения которого представлены на равнине суглинками, глинами (красноватого тона) и супесями, а в предгорьях – галечниками, плотно сцементированными конгломератами, перекрытыми лёссами (возможно более позднего времени).

В предгорьях Туркестанского хребта отложениям Q1 соответствуют поверхности выравнивания с высотами более 1 000 м.

Средний антропоген (Q2) представлен отложениями ташкентского комплекса, лежащими на размытой поверхности сохских отложений. Его мощность от 100 до 220 м.

В пределах собственно подгорной равнины Джизакской степи поверхность, соответствующая Q2, в виде обмытых останцов прослеживается вдоль предгорий, а также в пределах Санзарского и Зааминского конусов ([Скворцов, 1949](#)). Мавлянов ([1958](#)) датирует этим же возрастом поверхность Ломакинского плато. Однако, по данным более позднего времени ([Юрьев, 1960](#); [Костенко, 1975](#)), Ломакинское плато рассматривается как останцовая поверхность раннеголодностепского возраста – Q3.

Отложения голодностепского периода (Q3) представлены лёссовидными суглинками мощностью от 5 до 40 м, лежащими в северной части Голодной степи на аллювиальных песках Сырдарьи, а в южной части – на галечниках, песках, суглинках конусов выноса рек Санзара, Заамина и др. Отложения голодностепского цикла слагают большую часть Голодностепской равнины ([Юрьев, 1960](#)).

Эти отложения обнаруживаются и в предгорьях в долинах рек. Этому возрасту соответствует, по-видимому, наиболее низкая ступень предгорий, сложенная галечниками и перекрытая лёссами.

Современный (сырдарьинский) комплекс четвертичных отложений (Q4) прослеживается в долине Сырдарьи и представлен отложениями второй (озерной), первой террасы и поймы реки Сырдарьи. В пределах собственно подгорной Голодностепской подгорной равнины сырдарьинский комплекс представлен пролювиальными галечниками и песчано-суглинистыми отложениями современных конусов выноса и логообразных понижений. На отдельных участках, особенно на периферии Санзарского конуса, на землях, примыкающих к Арнасаю, широко распространены пески олового происхождения.

Почвенно-литолого-геоморфологическое районирование Джизакской степи и характеристика районов. На основе многочисленных опубликованных данных, а также на материалах собственных исследований, проведенных с использованием аэро-снимков, нами была составлена карта-схема литолого-геоморфологического строения Голодностепской подгорной равнины в пределах Джизакской степи (рис. 1). Эта карта-схема по-

служила основой природного районирования территории (табл. 1).

На карте выделено три уровня (три ступени) подгорной равнины. Первая – наиболее высокая ступень, примыкающая к предгорьям и разделяющая собственно подгорную равнину и предгорья Туркестанского хребта. Второй высотный уровень охватывает верхнюю часть собственно подгорной Голодностепской равнины – включает верхнюю и средние части конусов выноса рек Зааминсу, Санзар, а также высокую межконусную Заамино-Хавастскую равнину и территорию Ломакинского плато. Третий высотный уровень охватывает шлейфовую зону Хавастского, Зааминского, Санзарского конусов выноса и шлейф Ломакинского плато. На территории Джизакской степи этот уровень ограничен южным Голодностепским каналом, но он продолжается и к северу от канала на территории Новой зоны орошения Голодной степи и ограничен с севера собственно Голодностепским плато.

Таким образом, Голодностепская подгорная равнина представляет собой пологоволнистую, наклонную поверхность, образованную древними и современными генерациями слившихся конусов выноса – Санзарского, Зааминского, Хавастского. Она расположена в пределах Джизакской степи и Новой зоны орошения Голодной степи ([Панков, 1962](#); [Камилов, 1985](#)).

Голодностепская подгорная равнина наклонена с юго-запада на северо-восток, имеет абсолютные отметки от 650–400 м у подножия гор; до 260 м у северо-западной границы подгорной равнины, около Арнасайской депрессии у северной границы в зоне контакта с аллювиальной равниной. Уклон поверхности подгорной равнины меняется от 0.02–0.01 до 0.003–0.007. Наибольшими уклонами характеризуется верхняя часть равнины, особенно ее восточная окраина. Наименьшие уклоны отмечаются в шлейфовой зоне – в ее центральной части, куда направлены основные потоки восточной и отчасти западной периферии (со стороны Санзарского конуса выноса). Это определяет и направление общего геохимического стока, максимум солевых аккумуляций наблюдается именно в центральной части подгорной равнины – в районе шлейфа Зааминского конуса выноса.

Таблица 1. Почвенно-литолого-геоморфологические районы
 Джизакской степи

Table 1. Soil-lithological and geomorphological structure of the Jizzakh
 steppe

Высот- ные ступени	Абсолют- ные высоты, крутизна склонов	№ на карте	Название района, преобладающие почвы
Горы	Более 550 м н. у. м.		
Первый уровень предгорий	От 420 до 550 м н. у. м. 0.02–0.015	I	Делювиально-пролювиальный шлейф конусов выноса мелких водотоков и останцовых поверхностей первого уровня предгорий. Сероземы, сероземы щелнисто-галечниковые, почвы русел временных водотоков саев
Верхняя часть подгорной равнины	от 380 до 420–430 м н. у. м. 0.008–0.005	II	Верхняя часть Зааминского конуса выноса. Сероземы типичные, нередко орошаемые
		III	Верхняя часть Санзарского конуса выноса. Сероземы типичные и почвы русел саев
		IV	Высокая межконусная Зааминско- Санзарская равнина. Останцовые поверхности эродированных повышений и понижений. Сероземы, часто эродированные, гипсоносные
		V	Высокая межконусная Хавастско- Зааминская равнина. Сероземы, нередко эродированные, почвы русел саев
		VI	Высокая подгорная Хавастская наклонная равнина. Сероземы светлые, часто орошаемые

		VII	Межконусная Заамино-Хавастская равнина, примыкающая к Обручевскому понижению. Сероземы светлые
Ломакинское плато	330–430 м н. у. м. менее 0.005 кроме XI	VIII	Восточная часть Ломакинского плато, примыкающая с севера к Зааминскому конусу (средняя часть Зааминского конуса). Сероземы типичные, луговые почвы по долинам саев.
		IX	Северная часть Ломакинского плато, примыкающая к бровке уступа над шлейфовой зоной подгорной равнины. Сероземы типичные, луговые почвы по долинам саев.
		X	Центральная полого-холмистая часть Ломакинского плато. Сероземы типичные
		XI	Западная часть Ломакинского плато. Наиболее сильно пересеченная поверхность. Сероземы и луговые почвы долин саев
		XII	Долины саев Ломакинского плато. Луговые почвы, часто орошаемые, солончаки гипсоносные
Шлейфовая зона	ниже 330–380 м н. у. м. менее 0.005	XIII	Обручевская межконусная Заамино-Хавастская депрессия. Лугово-сероземные, сероземно-луговые почвы, солонцы
		XIV	Шлейф Хавастского конуса выноса (верхняя часть). Лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы и солончаки
		XV	То же (средняя часть). Лугово-сероземные и сероземно-луговые, луговые солончаковые почвы и солончаки
		XVI	Приджаильминский район. Луговые и сероземно-луговые солончаковые орошаемые почвы, солончаки

		XVII	Нижняя часть Санзарского конуса выноса. (по Туляганову – древний конус выноса р. Санзар). Сероземы светлые и лугово-сероземные орошаемые почвы
		XVIII	Долины рек в пределах Санзарского конуса выноса. Лугово-сероземные и луговые орошаемые почвы, солончаки малогипсоносные
		XIX	Шлейф Ломакинского плато. Сочетание делювиального шлейфа и конусов выноса логов Ломакинского плато. Сероземы светлые и лугово-сероземные почвы
		XX	Межгорная равнина к западу от Санзарского конуса. Лугово-сероземные, сероземно-луговые, луговые орошаемые почвы, нередко солончаковые и солончаки
		XXI	Шлейф Зааминского конуса выноса (восточная часть). Солончаки, сероземно-луговые и луговые солончаковые почвы
		XXII	То же (западная часть). Сероземно-луговые и луговые солончаковые почвы и солончаки

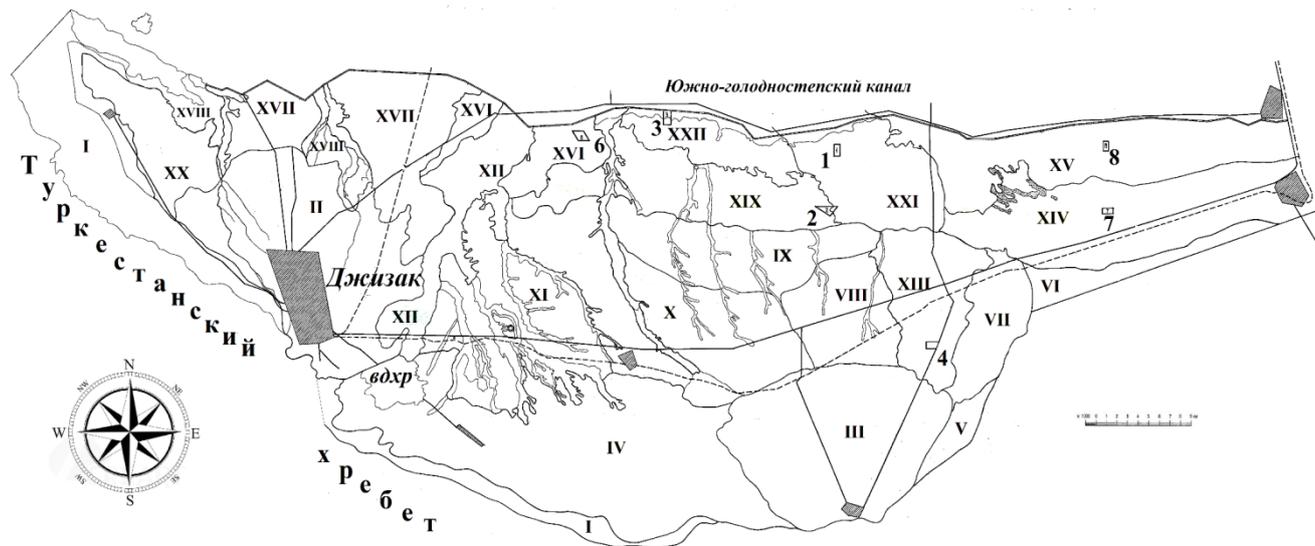


Рис. 1. Схема почвенно-литолого-геоморфологических районов Джизакской степи на период 1972–1977 гг. – до начала мелиоративного освоения. Уменьшено с масштаба 1 : 100 000. I–XXII – номера почвенно-литолого-геоморфологических районов (расшифровка в табл. 1). 1–8 – номера участков детальной почвенно-солевой съемки. Джизак – областной центр Джизакской области Узбекистана.

Fig. 1. Scheme of soil-lithological and geomorphological structure of the Jizzakh steppe for the period 1972–1977 – before the beginning of irrigation development. Reduced from a scale of 1 : 100 000. I–XXII – numbers of soil-lithological and geomorphological areas (decoding in Table 1). 1–8 numbers of plots of detailed soil and salt survey. Jizzakh – the regional center of the Jizzakh region of Uzbekistan. водхр. – Jizzakh reservoir.

Джизакская степь – верхняя часть собственно подгорной равнины (до отметок 360–350 м) по рисунку горизонталей и уклонам поверхности четко делится на три конуса выноса и две межконусные депрессии: Заамино-Хавастскую и высокую межконусную Заамино-Санзарскую равнину (рис. 1). Нижняя (шлейфовая) часть подгорной равнины представляет собой слившиеся конусы выноса и характеризуется однообразным равнинным рельефом. Границы между конусами (Санзарским, Зааминским и Хавастским) на территории шлейфовой зоны подгорной равнины выражены нечетко, хотя особенности литологии, мезо- и микрорельефа по фотоизображению на снимках позволяют разделить шлейфовую зону разных конусов выноса. Так, для Санзарского конуса характерно глубокое эрозионное расчленение его поверхности, преобладание однородных лёссовидных отложений на водоразделе, в то время как шлейф Зааминского конуса имеет плоский, относительно слаборасчлененный рельеф и слоистые, но в значительной части облессованные пылевато-суглинистые отложения с прослоями глин, супесей и сильно загипсованных суглинков. Шлейфовая зона Хавастского конуса выноса характеризуется отчетливо выраженным эрозионно-эоловым рельефом, широким распространением двухслойных отложений, супесчаного и суглинисто-глинистого состава.

Рельеф Джизакской части подгорной равнины осложнен приподнятыми поверхностями останцов более древних конусов выноса. Это обширные территории Ломакинского плато.

Границы между разновозрастными поверхностями могут хорошо выделяться на местности, но иногда сnivelированы и выражены нечетко.

Современное эрозионное расчленение подгорной равнины не всегда согласуется с уклонами поверхности. Наиболее четко эрозионные формы рельефа в виде глубоковрезанных логов (до 7–10 м) выделяются в западной части, на территории Санзарского конуса и на останцовой поверхности Ломакинского плато (рис. 1). Причем верховья логов, прорезающих Ломакинское плато, не всегда сочленяются с руслами потоков современных конусов выноса. Это свидетельствует о том, что эрозионная сеть Ломакинского плато была выработана на более раннем этапе формирования под-

горной равнины и унаследована современным рельефом. Следы бывшего эрозионного расчленения также вырисовываются в рельефе высокой межконусной Заамино-Санзарской равнины, расположенной к югу от Ломакинского плато. На территории этой равнины выделяются отдельные лёссовые останцы, а по снимкам прослеживаются следы древних водотоков, плохо выраженных в современном рельефе.

Эоловые процессы наиболее отчетливо проявляются в восточной части подгорной равнины, в пределах Хавастского конуса, а также в крайней западной Прикызылкумской части, примыкающей к Арнасайскому понижению. Эоловые процессы образовали здесь своеобразные бугристые формы мезорельефа.

Приведенное описание особенностей строения Голодно-степской подгорной равнины, а также анализ работ Туляганова (1971, 1981) по Джизакской степи показали, что в литолого-геоморфологическом отношении территория Голодно-степской подгорной равнины делится на две области: 1) собственно пролювиальная равнина – Джизакская степь и 2) аллювиально-пролювиальная равнина – зона нового орошения сложного генезиса, которая граничит с собственно аллювиальной равниной Голодной степи. Граница аллювиально-пролювиальной и аллювиальной частей Голодной степи проходит по Сардобинскому, Джетысайскому и Каройскому понижениям, а также по Арнасайскому, отделяющему Голодную степь от Кызылкумов.

На юго-западе территории выделен район межгорной котловины, ограничивающий с запада Санзарский конус выноса. В качестве самостоятельных геоморфологических районов выделяются долины рек Клы, Токур-сая, Джаильмы-сая и других водотоков.

В итоге обобщения изложенных выше материалов было определено положение объекта нашего исследования в общей схеме районирования Голодной степи. Это собственно современная подгорная равнина – Джизакская степь, которая занимает южную часть Голодно-степской подгорной равнины Туркестанского хребта. В пределах Джизакской степи выделяются четыре области, соответствующие ее высотным уровням.

Первая область – граница с предгорьями (рис. 1). Эта область вытянута узкой полосой вдоль предгорий между Заамин-

ским, Санзарским и Хавастским конусами. Ширина ее в направлении с юга на север составляет примерно 2–4 км; абсолютные отметки – от 550 до 420 м н. у. м., уклоны – порядка 0.02–0.015. Общий уклон территории направлен с юга-востока на северо-запад. Территория представляет собой волнистую равнину, образованную конусами выноса мелких рек (Рават-сай, Аччи-сай, Пшагар-сай и др.), вложенными в нижнюю ступень предгорной лестницы. Проллювиальные потоки мелких рек в местах выхода их на равнину размыли предгорную поверхность, которая сохранилась на этих участках лишь в виде обмытых останцов с относительным превышением над окружающей территорией в 5–10 м. Особенно хорошо такие останцы сохранились на контакте конусов выноса (например, Аччисайского и Зааминского). При въезде в долину Рават-сая также отчетливо выражена останцовая поверхность, характеризующаяся несколькими уровнями, связанными с вторичным эрозионным расчленением. Отложения мелких рек представлены гравелисто-галечниковым материалом с суглинистым заполнителем, обычно эти отложения имеют небольшую мощность. Иногда они как бы наложены на лёссовые отложения, слагающие более низкий уровень, а иногда останцовые поверхности сложены лёссами (мощностью 5–15 м), подстилаемыми галечниками. Лёссовые отложения останцов по своим свойствам близки к отложениям Ломакинского плато. Материалы, слагающие высокую проллювиально-делювиальную ступень, в большинстве случаев негипсоносны и незасолены, либо содержат небольшое (около 5%) количество гипса (рис. 1, район VII).

Вторая литолого-геоморфологическая область (первая ступень собственно подгорной равнины) охватывает верхние части Зааминского и Санзарского конусов выноса, Ломакинское плато и высокую Заамино-Санзарскую равнину, примыкающую на юге к делювиально-проллювиальному шлейфу предгорий, а на севере – к Ломакинскому плато (рис. 1). Высокая межконусная Заамино-Санзарская равнина является в некотором роде южным продолжением Ломакинского плато. Высокая Заамино-Санзарская равнина примыкает с юга к Ломакинскому плато, разделяя современные Зааминский и Санзарский конусы выноса. Южная граница Ломакинского плато выражена нечетко. Высокая межконусная равнина

является прямым продолжением Ломакинского плато. Однако анализ материалов аэрофотосъемки, дополненный рекогносцировочными наблюдениями, позволил наметить условную границу между районами Ломакинского плато и высокой Заамино-Санзарской равнины примерно по широте селения Бадьюра. К северу от этой границы на фотоснимках отчетливо выражен резко расчлененный рельеф Ломакинского плато. На территории же высокой подгорной межконусной равнины поверхность характеризуется более мягкими пологоволнистыми формами. Руслообразные понижения Ломакинского плато теряют здесь четкость своих очертаний, расширяются, выполаживаются и сливаются с окружающей территорией. Современные протоки, находящиеся на территории конусов выноса в предгорьях, не всегда сочленяются с верховьями широких логообразных понижений Ломакинского плато. Высокая межконусная равнина, по-видимому, унаследовала рельеф от более ранних эпох. Общий уклон поверхности высокой межконусной равнины направлен на северо-запад. В том же направлении вытянуты и логообразные понижения, отчетливо выделяемые по аэрофотоснимкам, но плохо выраженные в современном рельефе. Абсолютные отметки района от 430–420 до 380 м н. у. м. Уклоны поверхности порядка 0.008–0.005, рельеф слабопересеченный. Особо следует выделить юго-западную часть района, являющуюся, вероятно, шлейфовой частью конуса реки Пшагар-сай. Это наиболее пониженная часть. Отдельные повышения представляют собой обмытые лёссовые останцы более высокого и ныне размытого уровня. Судя по данным института “Средазгипроводхлопок”, а также по материалам наших исследований, район высокой межконусной равнины сложен с поверхности лёссовидными суглинками, мощность которых более 3–5 м ([Панкова, Мурадова, 1990](#)). Данные глубокого бурения указывают на то, что толща мелкозема лёссовидного облика достигает здесь 30–50 м, в ней линзами и клиньями включены в виде разобщенных языков галечники и пески. Аналогичным строением характеризуются и отложения собственно Ломакинского плато, что свидетельствует о близости условий формирования этих двух районов.

История развития района подгорной высокой межконусной Заамино-Санзарской равнины (рис. 1, район IV) нам представляет-

ся следующим образом. В период формирования мощных лёссовых покатостей вдоль северного склона Туркестанского хребта поверхность Ломакинского плато непосредственно примыкала к предгорьям. В голодностепский период (Q3), когда шло формирование мощнейших конусов выноса рек Зааминсу и Санзара, происходит частичный размыв высокой лёссовидной подгорной покатости. Естественно, что лучше всего она сохраняется между конусами в виде лёссового останца – Ломакинского плато (рис. 1, районы VIII, IX, X, XI). Именно с этим временем связано расчленение Ломакинского плато глубокими логами, по которым мощными потоками выносился материал на территорию собственно шлейфа подгорной равнины. В этот период лога Ломакинского плато несомненно были связаны с горными потоками Туркестанского хребта. В более позднее время, когда обводненность территории значительно уменьшилась, о чем свидетельствуют размеры современных конусов выноса, связь некоторых руслообразных понижений (особенно расположенных между Зааминским и Санзарским конусами) и потоками, идущими с гор, была прервана. Приуроченность высокой межгорной равнины к межконусной депрессии обусловила некоторое нивелирование поверхности. Мелкоземистый материал, сносимый с прилегающих конусов “затягивал” логообразные понижения и придавал поверхности современные покато-волнистые формы.

Таким образом, территория высокой Санзаро-Зааминской равнины (рис. 1, район IV) сформировалась в результате эрозионного расчленения, а позднее – в результате выравнивания древнего аккумулятивного уровня (соответствующего Ломакинскому плато) в голодностепский и сырдарьинский циклы (Q3–Q4). Отложения, слагающие ее, однородны и практически незасолены и слабогипсоносны, хотя на отдельных участках в понижениях засоление проявляется.

Высокая межконусная Заамино-Хавастская равнина представляет собой особый район, примыкающий с запада к Зааминскому конусу выноса. Эта территория представляет собой высокую делювиально-пролювиальную равнину серии Хавастских конусов выноса (рис. 1, районы VI, VII).

Особым литолого-геоморфологическим районом Джизак-

ской степи является останцовая поверхность Ломакинского плато (рис. 1, районы VIII, IX, X, XI). Абсолютные высоты этой поверхности составляют примерно 330–430 м н. у. м. Как было указано выше, Мавлянов (1958) датирует отложения Ломакинского плато ташкентским комплексом Q2. Однако ряд других исследователей (Юрьев, 1960; Костенко, 1975) датируют отложения Ломакинского плато ранне-голодностепским возрастом Q3. Ломакинское плато – останцовая лёссовая поверхность – была выделена нами в отдельный почвенно-литологический и почвенно-мелиоративный район Джизакской степи. Ломакинское плато делится на две части: западную и восточную. Западная – наиболее возвышенная, прорезанная глубокими логообразными понижениями; восточная – более пониженная с более узкими и менее глубокими логообразными понижениями.

Почвы западной части Ломакинского плато представлены сероземами типичными, формирующимися на мощной толще однородных лёссовидных суглинков, в большинстве своем незасоленных и негипсоносных. Восточная часть – наиболее низкая часть Ломакинского плато, примыкающая с запада к Зааминскому конусу выноса, характеризуется менее расчлененным рельефом по сравнению с западной. Лога здесь менее глубокие и более узкие по сравнению с западной частью Ломакинского плато. Восточная часть Ломакинского плато, так же как и западная, сложена лёссовидными суглинками (лёссом). В восточной части плато, в отличие от западной, почвы засолены и гипсоносны во втором метре профиля, в материнских породах (лёссовых отложениях) часто проявляются гипсоносные прослои, а также некоторое количество легкорастворимых солей.

К северу от границы Ломакинского плато и от территории собственно Санзарского и Зааминского конусов выноса расположена нижняя ступень Голодностепской подгорной равнины в пределах Джизакской степи – это шлейфовая зона конусов подгорной Голодностепской равнины – зона современной аккумуляции материала, и в том числе геохимического стока, выносимого с гор Туркестанского хребта. В пределах шлейфовой зоны подгорной равнины выделяются шлейфы трех конусов выноса и межконусных депрессий: 1) шлейф Санзарского конуса выноса, 2) шлейф За-

аминского конуса выноса и 3) шлейф Хавастского конуса и их межконусные депрессии. Кроме того, в шлейфовой зоне Джизакской степи выделяется район шлейфа Ломакинского плато, состоящий из делювиального шлейфа и конусов выноса логообразных понижений, пересекающих Ломакинское плато.

Шлейфовая зона подгорной Голодностепской равнины в пределах Джизакской степи неоднородна по своим мелиоративным свойствам, это определяется особенностью строения этой территории.

1) Шлейф Санзарского конуса выноса (рис. 1, район XVII) представляет собой плоские водораздельные поверхности, сложенные незасоленными или слабозасоленными лёссовидными суглинками, прорезанные руслами глубоких логов (2–5 м), днище водотоков которых слагают слоистые, сильнозасоленные и высоко и сильно гипсоносные отложения (рис. 1, районы XVI и XVIII). Эти отложения обычно имеют мощность 2–5 и более метров. Глубоко врезанные лога дренируют поверхность шлейфа Санзарского конуса. Здесь формируются лугово-сероземные и сероземно-луговые засоленные почвы и солончаки.

2) Шлейф Зааминского конуса выноса (рис. 1, районы XI и XXII) расположен к юго-востоку и к юго-западу от восточной части Ломакинского плато. Он сложен слоистыми пылеватými отложениями, в которых пылеватые супеси чередуются с тяжелыми суглинками, то есть по литологии шлейф Зааминского конуса резко отличается от Санзарского конуса. Депрессии, расположенные в зоне конечной аккумуляции Зааминского конуса, сложены тяжелым засоленным и загипсованным материалом, в то время как повышения сложены более легкими, часто слоистыми наносами. При этом отложения шлейфа Зааминского конуса сильно засолены и сильно гипсоносны до глубины 3–5 и более метров в отличие от отложений Санзарского конуса выноса. В почвенном покрове преобладают сероземно-луговые почвы и солончаки.

3) Материал, слагающий делювиальный шлейф Ломакинского плато (рис. 1, район XIX), отличается высокой облессованностью и слабой засоленностью верхней части профиля, по сравнению со шлейфом Зааминского конуса, и наличием высокого засоления и загипсованности в местах выхода устьев логообразных

понижений, прорезающих Ломакинское плато. В этом районе преобладают лугово-сероземные засоленные почвы.

4) Шлейфы Хавастских конусов выноса (рис. 1, районы VI, XIV, XV) характеризуются наличием контрастных супесчаных и глинистых отложений, при этом широко распространены слоистые отложения, в которых супеси чередуются с тяжелыми суглинками и глинами. Засоление и гипсоносность отмечается здесь лишь в верхних 2–3 метрах, ниже отложения, слагающие шлейфы Хавастских конусов выноса, часто не засолены.

Между собственно конусами выноса располагаются межконусные депрессии, которые в рельефе шлейфовой зоны выражены менее отчетливо. Здесь господствуют сильно засоленные почвы. Почвенный покров представлен почвами, формирующимися на контрастных по литологии отложениях.

5) Обручевская межконусная Заамино-Хавастская депрессия (рис. 1, район XIII) была выделена нами особо по преобладанию сильно засоленных тяжелых суглинков в верхней части почвенного профиля. Ниже двух метров появляются супесчаные и галечниковые прослои, подстилающие породы становятся практически незасоленными.

Шлейфовая зона, выделяемая в пределах Джизакской степи, постепенно понижаясь, продолжается и на территории Новой зоны освоения Голодной степи, лежащей к северу от Южного Голодностепского канала. Шлейфовая зона, выполаживаясь, часто заканчивается озерными депрессиями, занятыми злостными солончаками с близлежащими сильно минерализованными грунтовыми водами ([Панкова, Молодцов, 1979](#)). Эта территория с севера подпирается более древней пролювиально-аллювиальной поверхностью Голодностепского плато – зоной контакта аллювиальной и пролювиальной частей Голодной степи.

Останцовая аллювиально-пролювиальная поверхность Голодностепского плато, лежащая в пределах Новой зоны орошения Голодной степи, – более древняя, по сравнению с современной поверхностью подгорной равнины, расположенной в пределах Джизакской степи. Особенностью генезиса Голодностепского плато является сочетание аллювиальных и пролювиальных процессов, которые обусловили специфику строения и определили

относительно слабую геохимическую связь территории Голодно-степского плато с вышележащими землями современной подгорной равнины Джизакской степи ([Панков, 1962](#)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обобщения материалов, характеризующих историю формирования и особенности строения подгорной равнины в пределах Джизакской степи можно сделать следующие выводы.

1. Джизакская степь характеризуется сложной историей формирования. Наличием разновозрастных и разных по генезису территорий, связанных с современными и древними аккумулятивными процессами и представляющими в настоящее время единую в геоморфологическом отношении территорию – подгорную равнину северного склона Туркестанского хребта, которая лежит на территории Джизакской степи и частично на юге Новой зоны орошения Голодной степи. Объектом нашего исследования является территория собственно подгорной равнины в пределах Джизакской степи (рис. 1).

2. В современном рельефе на территории Джизакской степи отчетливо выделяются верхняя часть и шлейфовая зона подгорной равнины. При этом характерно совмещение шлейфовой зоны с зоной современной геохимической разгрузки.

Особенностью верхней части подгорной равнины является относительно хорошая дренированность территории, тогда как шлейф подгорной равнины дренирован слабо. Здесь сказывается влияние Голодно-степского плато как механического геохимического барьера, препятствующего дренированию территорий современной шлейфовой зоны подгорной Голодно-степской равнины.

3. Засоленность почвообразующих пород и выклинивание грунтовых вод являются источником засоления и гипсоносности почв шлейфовой зоны подгорной Голодно-степской равнины на территории Джизакской степи. Наибольшая мощность засоленных отложений характерна для шлейфа Зааминского конуса выноса. В меньшей степени засолены породы шлейфа Санзарского конуса, которые дренируются глубокими саями. На Хавастской наклонной равнине с глубиной содержание солей и гипса падает,

хотя верхний двухметровый слой может быть очень сильно засоленным. Можно считать, что высокая засоленность и гипсоносность пород, а также высокая минерализация грунтовых вод шлейфовой зоны являются источником современного соленакопления в почвах подгорной Голодностепской равнины, и в том числе почв шлейфовой зоны Джизакской степи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас почвенного покрова Республики Узбекистан. Госкомитет Республики Узбекистан по земельным ресурсам, геодезии, картографии и государственному кадастру. 2010. 46 с.
2. *Варсанюфьева В.А.* Геоморфологические наблюдения на Северном Урале // Отдельный оттиск из журнала “Известия Государственного Географического Общества”. 1932. Т. LXIV. Вып. 2–3. 67 с.
3. *Васильковский Н.П.* К возрастному расчленению четвертичных отложений Северо-Восточного Узбекистана // Тр. ИГ АН УзССР. 1951. Вып. 6. С. 5–44.
4. *Герасимов И.П., Марков К.К.* Четвертичная геология: Палеогеография четвертичного периода. М.: Учпедгиз, 1939. 364 с.
5. *Егоров В.В.* Значение для ирригации геоморфологических особенностей подгорных равнин Средней Азии // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1970. № 3. С. 52–60.
6. *Егоров В.В.* Происхождение и мелиоративные особенности предгорных равнин аридной зоны // Орошение и мелиорация. М.: Наука, 1977. С. 84–97.
7. *Камилов О.К.* Мелиорация засоленных почв Узбекистана. Ташкент: Изд-во ФАН Узб. ССР, 1985. 280 с.
8. Карта новейшей тектоники СССР. ГУГК, 1966.
9. *Костенко Н.П.* Четвертичные отложения горных стран. М.: Недра, 1975. 213 с.
10. *Кренке А.Н.* Итоговый отчет о результатах работ в рамках пилотного проекта “Проведение первого этапа работ по агроэкологической оценке территории Джизакской степи”. М.: Экомониторинг, 2019. 46 с.
11. *Мавлянов Г.А.* Генетические типы лёссов и лёссовидных пород центральной и южной частей Средней Азии и их инженерно-геологические свойства. Ташкент: Изд-во АН УзбССР, 1958. 608 с.
12. *Марков К.К.* Палеогеография и новейшие отложения: Избр. труды. М.: Наука, 1986. 278 с.
13. *Наливкин Д.В.* Палеогеография Центральной Азии. Научные результаты Таджикско-Памирской экспедиции. М.: Изд. АН СССР, 1936.

С. 35–86.

14. *Панков М.А.* Процессы засоления и рассоления почв Голодной степи. Ташкент, 1962. 336 с.
15. *Панкова Е.И.* Засоление почв Джизакской степи: закономерности его распространения и критерии оценки // Почвоведение. 1982. № 4. С. 90–100.
16. *Панкова Е.И., Молодцов В.А.* Солончаки сазовой зоны Голодностепской подгорной равнины и их мелиоративные особенности / Почвоведение. 1979. № 2. С. 116–129.
17. *Панкова Е.И., Мурадова З.М.* Почвенно-литолого-геоморфологическое районирование Голодностепской подгорной равнины // Науч. тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ. М., 1990. С. 4–12.
18. *Пенк В.* Морфологический анализ. М.: Географгиз, 1961. 360 с.
19. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М: Высшая школа, 1975. 341 с.
20. *Скворцов Ю.А.* Элементы новейших тектонических движений Узбекистана. Ташкент, 1949. 37 с.
21. *Скворцов Ю.А.* К характеристике среднеазиатских лёссов // Тр. САГУ: нов. Сер. 1957. Вып. 49. С. 5–63.
22. Тектоническая карта Узбекистана и прилегающих территорий. Масштаб 1 : 2 500 000. 2004. URL: http://neotec.ginras.ru/neomaps/M025_Uzbekistan_2004_Tectonics.jpg.
23. *Туляганов Х.Т.* Гидрогеологические основы освоения земель предгорных равнин. Ташкент: ФАН, 1971. 133 с.
24. *Туляганов Х.Т.* Гидрогеологические условия мелиорации Джизакской степи // Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ. М., 1981. С. 99–107.
25. *Федорович Б.А.* Вопросы палеогеографии равнин Средней Азии / Проблемы палеогеографии и четвертичного периода // Тр. Ин-та географии АН СССР. 1946. Вып. 37. С. 152–174.
26. *Холбоев Б., Намозов Х.* Современное мелиоративное состояние почв Голодной степи Узбекистана. 2017. 56 с.
27. *Шеримбетов В.Х.* Выявление и оценка опустынивания почв Джизакской Степи с применением ГИС-технологий и обработки данных дистанционного зондирования: Автореф. дис. доктора философии (PhD) по биол. наукам. 03.00.13 – Почвоведение. Ташкент, 2019. 45 с.
28. *Щукин И.С.* Геоморфология Средней Азии. М., 1983. 431 с.
29. *Юрьев А.А.* Некоторые вопросы геологического строения и палеогеографии Голодной степи в четвертичное время // Матер. по производительным силам Узбекистана. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1960. С. 14–30.

30. Penck W. Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. Stuttg., 1924.

REFERENCES

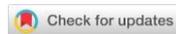
1. *Atlas pochvennogo pokrova Respubliki Uzbekistan*. Goskomitet Respubliki Uzbekistan po zemel'nym resursam, geodezii, kartografii i gosudarstvennomu kadastru (Atlas of the soil cover of the Republic of Uzbekistan. State Committee of the Republic of Uzbekistan for Land Resources, Geodesy, Cartography and State Cadastre), 2010, 46 p.
2. Varsanof'eva V.A., Geomorfologicheskie nablyudeniya na Severnom Urale (Geomorphological observations in the Northern Urals), Special imprint from the journal "Izvestiya Gosudarstvennogo Geograficheskogo Obshchestva", 1932, Vol. LXIV, Iss. 2–3, 67 p.
3. Vasil'kovskii N.P., K vozrastnomu raschleneniyu chetvertichnykh otlozhenii Severo-Vostochnogo Uzbekistana (On the age division of the Quaternary deposits of North-Eastern Uzbekistan), *Tr. IG AN UzSSR*, 1951, Vol. 6, pp. 5–44.
4. Gerasimov I.P., Markov K.K., *Chetvertichnaya geologiya: Paleogeografiya chetvertichnogo perioda* (Quaternary Geology: Paleogeography of the Quaternary), Moscow: Uchpedgiz, 1939, 364 p.
5. Egorov V.V., Proiskhozhdenie i meliorativnye osobennosti predgornnykh ravnin aridnoi zony (Origin and meliorative features of the foothill plains of the arid zone), In: *Oroshenie i melioratsiya* (Irrigation and melioration), Moscow: Nauka, 1977, pp. 84–97.
6. Egorov V.V., Znachenie dlya irrigatsii geomorfologicheskikh osobennostei podgornnykh ravnin Srednei Azii (Significance for irrigation of geomorphological features of the foothill plains of Central Asia), *Izvestiya AN SSSR, Ser. geogr.*, 1970, No. 3, pp. 52–60.
7. Kamilov O.K., *Melioratsiya zasolennykh pochv Uzbekistana* (Reclamation of saline soils in Uzbekistan), Tashkent: Izd-vo FAN Uzb. SSR, 1985, 280 p.
8. *Karta noveishei tektoniki SSSR* (Map of the latest tectonics of the USSR), GUGK, 1966.
9. Kostenko N.P., *Chetvertichnye otlozheniya gornnykh stran* (Quaternary deposits of mountainous countries), Moscow: Nedra, 1975, 213 p.
10. Krenke A.N., *Itogoviye otchet o rezul'tatakh rabot v ramkakh pilotnogo proekta "Provedenie pervogo etapa rabot po agroekologicheskoi otsenke territorii Dzhizakskoi stepi"* (Final report on the results of work in the framework of the pilot project "Carrying out the first stage of work on agro-ecological assessment of the territory of the Jizzakh steppe"), Moscow: Ekomonitring, 2019, 46 p.

11. Mavlyanov G.A., *Geneticheskie tipy lessov i lessovidnykh porod tsentral'noi i yuzhnoi chastei Srednei Azii i ikh inzhenerno-geologicheskie svoystva* (Genetic types of loesses and loesslike rocks of the central and southern parts of Central Asia and their geotechnical properties), Tashkent: Izd-vo AN UzbSSR, 1958, 608 p.
12. Markov K.K., *Paleogeografiya i noveishie otlozheniya: Izbr. trudy*, (Paleogeography and recent deposits: Selected works), Moscow: Nauka, 1986, 278 p.
13. Nalivkin D.V., *Paleogeografiya Tsentral'noi Azii* (Paleogeography of Central Asia), In: *Nauchnye rezul'taty Tadzhiksko-Pamirskoi ekspeditsii* (Scientific results of the Tajik-Pamir expedition), Moscow: Izd. ANSSSR, 1936, pp. 35–86.
14. Pankov M.A., *Protsessy zasoleniya i rassoleniya pochv Golodnoi stepi* (The processes of salinization and desalinization of soils in the Golodnaya steppe), Tashkent, 1962, 336 p.
15. Pankova E.I., *Zasolenie pochv Dzhizakskoi stepi: zakonomernosti ego rasprostraneniya i kriterii otsenki* (Soil salinization of the Jizzakh steppe: patterns of its distribution and evaluation criteria), *Pochvovedenie*, 1982, No. 4, pp. 90–100.
16. Pankova E.I., Molodtsov V.A., *Solonchaki sazovoi zony Golodnostepskoi podgornoj ravniny i ikh meliorativnye osobennosti* (Saline marshes of the saz zone of the Golodnostepskaya piedmont plain and their meliorative features), *Pochvovedenie*, No. 2, pp. 116–129.
17. Pankova E.I., Muradova Z.M., *Pochvenno-litologo-geomorfologicheskoe raionirovanie Golodnostepskoi podgornoj ravniny* (Soil-lithological-geomorphological zoning of the Golodnostep piedmont plain), *Nauch. tr. Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva VASKhNIL*, 1990, pp. 4–12.
18. Penk V., *Morfologicheskii analiz* (Morphological analysis), Moscow: Geografiz, 1961, 360 p.
19. Perel'man A.I., *Geokhimiya landshafta* (Landscape geochemistry), Moscow: Vysshaya shkola, 1975, 341 p.
20. Skvortsov Yu.A., *K kharakteristike sredneaziatskikh lessov* (On the characterization of Central Asian loesses), *Tr. SAGU: nov. Ser.*, 1957, Iss. 49, pp. 5–63.
21. Skvortsov Yu.A., *Elementy noveishikh tektonicheskikh dvizhenii Uzbekistana* (Elements of the latest tectonic movements in Uzbekistan), Tashkent, 1949, 37 p.
22. *Tektonicheskaya karta Uzbekistana i prilegayushchikh territorii. Masshtab 1 : 2 500 000* (Tectonic map of Uzbekistan and adjacent territories. Scale 1 : 2,500,000), 2004, URL: http://neotec.ginras.ru/neomaps/M025_Uzbekistan_2004_Tectonics.jpg.

23. Tulyaganov Kh.T., *Gidrogeologicheskie osnovy osvoeniya zemel' predgornyykh ravnin* (Hydrogeological foundations of land development in the foothill plains), Tashkent: FAN, 1971, 133 p.
24. Tulyaganov Kh.T., *Gidrogeologicheskie usloviya melioratsii Dzhizakskoi stepi* (Hydrogeological conditions of reclamation of the Jizzakh steppe), *Nauch. tr. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva VASKhNIL*, 1981, pp. 99–107.
25. Fedorovich B.A., *Voprosy paleogeografii ravnin Srednei Azii, Problemy paleogeografii i chetvertichnogo perioda* (Problems of paleogeography of the plains of Central Asia, Problems of paleogeography and the Quaternary), *Tr. In-ta geografii AN SSSR*, 1946, Vol. 37, pp. 152–174.
26. Kholboev B., Namozov Kh., *Sovremennoe meliorativnoe sostoyanie pochv Golodnoi stepi Uzbekistana* (Modern reclamation state of soils in the Hungry Steppe of Uzbekistan), 2017, 56 p.
27. Sherimbetov V.Kh., *Vyyavlenie i otsenka opustynivaniya pochv Dzhizakskoi Step'i s primeneniem GIS-tekhnologii i obrabotki dannykh distantsionnogo zondirovaniya: Avtoref. dis. doktora filosofii (PhD) po biol. naukam* (Revealing and assessment of desertification of soils of the Jizzakh Steppe with the use of GIS technologies and processing of remote sensing data: Extended abstract of PhD in biol. sci. thesis), 03.00.13 – Soil Science, Tashkent, 2019, 45 p.
28. Shchukin I.S., *Geomorfologiya Srednei Azii* (Geomorphology of Central Asia), Moscow, 1983, 431 p.
29. Yur'ev A.A., *Nekotorye voprosy geologicheskogo stroeniya i paleogeografii Golodnoi stepi v chetvertichnoe vremya* (Some questions of the geological structure and paleogeography of the Hungry Steppe in the Quaternary time), *Proc. on the productive forces of Uzbekistan*, Tashkent: Izd-vo AN UzSSR, 1960, pp. 14–30.
30. Penck W., *Die morphologische Analyse, Ein Kapitel der physikalischen Geologie*, Stuttg., 1924.

УДК 631.416:631.482.1

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-61-91



Ссылки для цитирования:

Мартынов А.В. Подвижные формы фосфора в пойменных катенах реки Амур // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 61-91. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-61-91

Cite this article as:

Martynov A.V., Available for plants phosphorus in the floodplain catenas of the Amur River, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 61-91, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-61-91

Подвижные формы фосфора в пойменных катенах реки Амур

© 2021 г. А. В. Мартынов

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Россия,
675000, г. Благовещенск, пер. Речочный, 1,
<https://orcid.org/0000-0002-8839-036X>, e-mail: lexx_1981@list.ru.*

*Поступила в редакцию 21.04.2021, после доработки 20.05.2021,
принята к публикации 16.06.2021*

Резюме: Изучено содержание и распределение подвижных форм фосфора в разных типах пойменных почв вдоль пяти катен, расположенных в верхнем и среднем течении р. Амур. Установлено, что на подвижные формы фосфора в почвах пойм влияют следующие факторы: строение речной сети, тип поймы, характер растительного покрова, почвообразующие процессы. При длительной транспортировке аллювия в русле реки происходит его гидрогенное выветривание с высвобождением фосфора в речные воды. При отсутствии притоков, служащих дополнительными источниками аллювия, содержание фосфора по ходу русла снижается. В небольших по размеру поймах повышена интенсивность пойменных и аллювиальных процессов, обеспечивающих обновление почвенного профиля и поддержание запасов фосфора. В почвах под березовым лесом, отмечена значительная аккумуляция фосфора, по сравнению с почвами под луговой растительностью. Развитие глеевых процессов вызывает активную мобилизацию фосфора, но при долговременном воздействии приводит к истощению его общих запасов. Процессы лессиважа, развивающиеся при выходе аллювиальных почв из пойменного режима, способствуют

миграции оксидов железа и сорбируемого ими фосфора за пределы почвенного профиля. Среднее содержание подвижных форм фосфора, в зависимости от типа почв, снижается по ходу течения: от 300–100 мг/кг в верхнем течении до 170–20 мг/кг в среднем течении. Лучше всего обеспечены фосфором самые примитивные – аллювиальные слоистые почвы, хуже – остаточно-пойменные брунземы.

Ключевые слова: подвижные формы фосфора, пойменные почвы, р. Амур, catena, глеевые процессы, березовый лес.

Available for plants phosphorus in the floodplain catenas of the Amur River

© 2021 A. V. Martynov

*Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch,
Russian Academy of Sciences,*

*1 Relochnyi per., Blagoveshchensk 675000, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0002-8839-036X>, e-mail: lexx_1981@list.ru.*

Received 21.04.2021, Revised 20.05.2021, Accepted 16.06.2021

Abstract: This work was carried out to study the content and distribution of available for plants phosphorus in different types of floodplain soils along five catenas located in the upper and the middle Amur. It was found that the available for plants phosphorus forms in the soils of floodplains are influenced by the following factors: the structure of the river system, the type of floodplain, the type of vegetation cover, and soil-forming processes. During the long-term transportation of alluvium along the river bed, its hydrogenic weathering occurs with the release of phosphorus into river waters. In the absence of tributaries serving as additional sources of alluvium, the phosphorus content decreases downstream. More intense floodplain and alluvial processes in small floodplains provide renewal of the soil profile and replenishment of phosphorus reserves. In the soils under the birch forest, there is a significant accumulation of phosphorus, in comparison with the soils under meadow vegetation. The development of gley processes leads to active mobilization of phosphorus, but the long-term exposure leads to the depletion of its total reserves. The illimerization processes, initiated and developing when the floodplain hydrological regime of alluvial soils is changed to another one, promote the migration of iron oxides and phosphorus, adsorbed by the former, beyond the soil profile. To summarize, the average content of available for plants phosphorus, depending on the type of soil, decreases downstream from 300–100 mg/kg in the upper Amur to 170–20 mg/kg in the

middle Amur. Available for plants of phosphorus are best provided in primitive alluvial layered soils, while in residual floodplain brunezems the lowest content is recorded.

Keywords: available for plants phosphorus, floodplain soils, the Amur River, catena, gley processes, birch forest.

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор – важнейший биогенный элемент, необходимый для жизни всех организмов. Он не просто входит в состав любой живой клетки, будь то клетка бактерии, растения или животного, он служит ключевым элементом почти всех жизненных процессов. Жизнь без фосфора существовать не может ([Яншин, Жарков, 1986](#)). Основным источником фосфора, как и всех макро- и микро-элементов, для живых организмов служит почва ([Wardle et al., 2004](#)). Содержание фосфора и распределение его соединений в почвах связаны с генезисом почвообразующих пород, различной интенсивностью проявления почвообразовательных процессов, а также с преобразованием современных почв под влиянием различных факторов, в том числе и антропогенных ([Fink et al., 2016](#)). Главным источником соединений фосфора для почв служат почвообразующие породы ([Корзун, 1993](#)). В процессах выветривания фосфор материнской породы вовлекается в биологический круговорот, при этом образуются новые вторичные соединения – органические и минеральные, которые постоянно находятся в процессе превращения друг в друга ([Tiessen et al., 1984](#)). Соотношение между этими соединениями определяется общим направлением почвообразовательных процессов. Минеральные формы фосфора в почве как правило преобладают над органическими ([Ельшаева, 1998](#)).

Содержание валового фосфора в почве изменяется в пределах от 0.2 до 5 г/кг, но для растений доступен лишь 1% от этого содержания ([Барбер, 1988](#); [Richardson et al., 2005](#)). В результате богатых фосфором почвенных типов в природе практически нет. Существующий в природе процесс биологической аккумуляции фосфора из нижних слоев почвы посредством глубоко проникающей корневой системы растений происходит очень медленно, и темпы его не соответствуют темпам отчуждения фосфора из почв

с урожаями сельскохозяйственных культур даже в почвах с высокой обеспеченностью этим элементом ([Возбуцкая, 1968](#); [Иванов и др., 2009](#)). Поэтому изучение фосфатного режима почв и его регулирование является важнейшей проблемой минерального питания растений ([Rogova et al., 2018](#)). Наиболее остро данный вопрос стоит для пойменных почв, так как в них именно фосфор рассматривается как фактор, лимитирующий плодородие ([Krögera, Matthew, 2011](#); [Alexander et al., 2008](#)).

Основным источником фосфора в пойменных почвах служит аллохтонное вещество, поступающее в поймы с паводками и в результате склоновых процессов с террас. Будучи отрицательно заряженным, фосфор образует оксиды, активно связываясь с катионами почв (Ca, Mn, Fe и Al) и глинистыми минералами. Связанные формы плохо растворимы ([Bagyaraj et al., 2000](#)), и лишь небольшая часть аллохтонного фосфора остается биологически доступной. В результате большая часть фосфора, как естественного, так и антропогенного происхождения, поступающего в пойменные экосистемы, иммобилизируется в отложениях и становятся недоступными для растений ([Jana, 2007](#)).

Связи фосфора с оксидами и глинистыми минералами очень стабильны, но зависят от ряда почвенных характеристик: 1) интенсивности окислительно-восстановительного потенциала или Eh ([Maranguit, 2017](#)); 2) содержания оксидов железа ([Maranguit, 2017](#)); 3) содержания органического вещества почвы и его микробной доступности ([Quintero et al., 2007](#); [Артемьева, 2015](#)); 4) общего содержания фосфора и его формы ([Amarawansha et al., 2015](#)); 5) повышения кислотности почвы, увеличивающей доступность фосфора за счет увеличения растворимости соединений железа и алюминия ([Chacon et al., 2005](#)). Следовательно, развитие анаэробных процессов, связанных с паводками или длительным атмосферным переувлажнением, приводит к мобилизации фосфора ([Rakotoson et al., 2016](#)), а в условиях избыточного переувлажнения он вымывается из почв грунтовыми и речными водами, что усиливает его дефицит на пойменных территориях ([Sondergaard et al., 1999](#)).

Актуальность проблемы дефицита фосфора в пойменных почвах усиливается в связи с регулированием речного стока многих рек вследствие строительства плотин, ГЭС и активного вовлечения пойменных территорий в хозяйственную деятельность с применением удобрений. Регулирование речного стока срезает паводковые пики, что приводит к более редким паводкам, и как следствие, к осушению поймы ([Гусев, 2002](#)). В пойменных почвах снижается интенсивность анаэробных процессов, но интенсифицируется окисление органического фосфора до высоко лабильной неорганической формы с его миграцией в нижние горизонты с атмосферными осадками ([Owens, Walling, 2002](#)). Внесение органических и минеральных удобрений усиливает микробную активность почвы и повышает доступность фосфора за счет процессов минерализации-иммобилизации ([Chen et al., 2003](#); [Lehmann et al., 2005](#)). Однако необоснованно высокие дозы удобрений, внесение удобрений без учета свойств почв и биоклиматических условий территории приводит к загрязнению грунтовых и поверхностных вод и развитию процессов эвтрофикации ([Bostrom et al., 1988](#); [Salazar et al., 2018](#)).

Таким образом, исследования, посвященные содержанию фосфора в пойменных почвах р. Амур, одной из крупнейших рек мира, своевременны и актуальны. Особенно с учетом значительного вовлечения пойменных территорий р. Амур в хозяйственную деятельность человека и функционирования (на российской территории) двух крупных ГЭС на ее притоках. Также изученность пойменных почв долины р. Амур крайне мала. Частично это связано с ее трансграничным положением, разделением по фарватеру между Россией и Китаем. Но основная причина в том, что в Амурской области, в пределах которой расположено верхнее и среднее течение р. Амур, основной акцент почвенных исследований смещен в сторону черноземовидных почв и буроземов. Систематические исследования аллювиальных почв в Амурской области, несмотря на их значительную вовлеченность в хозяйственную сферу, почти не проводились.

Для оценки плодородия почв используют преимущественно подвижную форму фосфора, т. к. валовое содержание в почве не является показателем возможности его использования растениями. Растениям хорошо доступны лишь водорастворимые дигидрофосфаты и в меньшей степени – гидрофосфаты, концентрация которых в почвенном растворе незначительна, так как они постепенно переходят в слаборастворимые фосфаты ([Кидин, Горшин, 2016](#)). Также необходимо учитывать, что поймы – высоко динамичный объект, характеризующийся большим разнообразием природных параметров, зависящих в первую очередь от строения поймы и ее рельефа ([Lair et al., 2009](#)), и сильно изменчивым почвенным покровом, состоящим из азональных и зональных почвенных типов ([Шварц, 1969](#)). Поэтому цель данной работы заключалась в геохимической характеристике обеспеченности различных генетических типов почв пойм верхнего и среднего течения р. Амур подвижными формами фосфора с учетом морфологического строения поймы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Основным методом при проведении исследования был метод катен. Данный метод предложен G. Milne в 1932 г. и в настоящее время нашел широкое применение в почвоведении, биогеохимии, ландшафтоведении и др. науках, что обусловлено концепцией метода катенарных комплексов, позволяющей не только объединить факторы, объясняющие различия в почвенном покрове, но также изучить историю земной поверхности, геологии, гидрологии, эрозии, переноса наносов и почвенных процессов ([Bordena et al., 2020](#)).

Объектом исследования послужили аллювиальные и остаточные-аллювиальные почвы, сформированные в пределах пяти катен в пойме р. Амур (рис. 1). Три катены были заложены в верхнем течении р. Амур и две – в среднем течении.

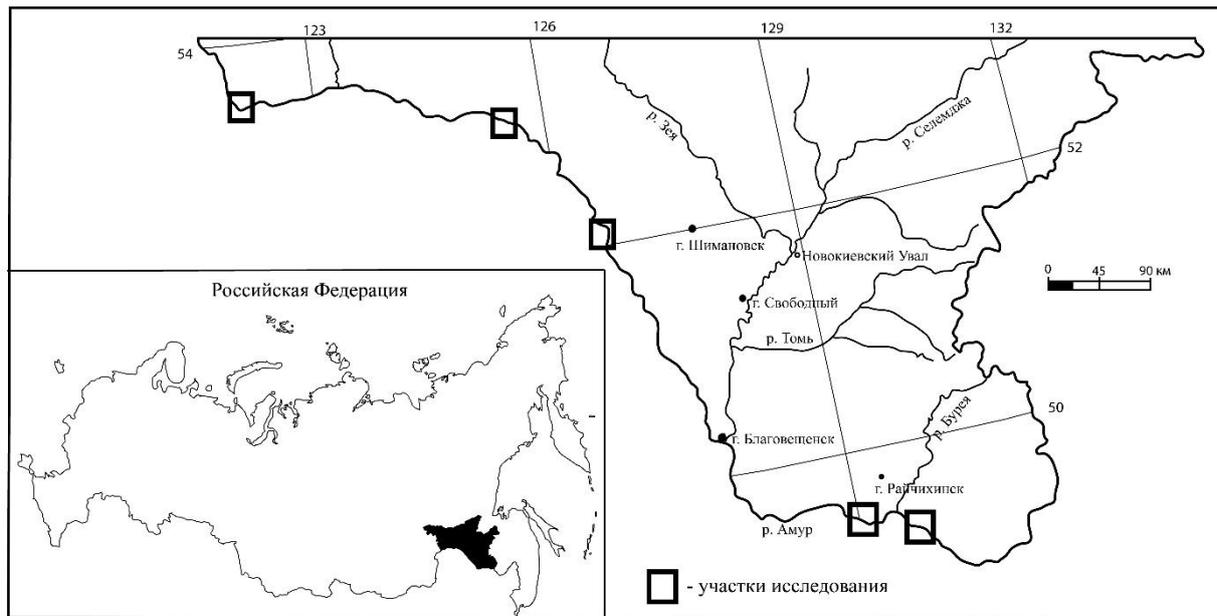


Рис. 1. Карта-схема южной части Амурской области с указанием участков исследования.

Fig. 1. Map of the southern part of the Amur Region, the study sites are indicated.

Поймы в верхнем течении небольшие по размеру, а русло реки, где они сформированы, по классификации МГУ ([Чалов, 2007](#)), относится к адаптивному типу. Катена № 1 расположена на границе Амурской области, в междуречье рек Амур – Амазар. Она имеет небольшую протяженность – 300 м. В ее пределах заложено 8 почвенных разрезов. Пойма представляет собой слабо выгнутую равнину с невыраженными прирусловой и притеррасной частями, ограниченную выходом скал и большей частью покрытую березовым лесом. Катена № 2 расположена в 5 км выше по течению от с. Черняево. Ее длина 2 км, а заложено 11 почвенных разрезов. Пойма состоит из трех сильно дифференцированных компонентов: равнинной прирусловой части; большого понижения в виде высохшей протоки в центральной части, в пределах которого развита сеть озер и болот; притеррасной части в форме слабонаклонного склона, покрытого березовым лесом и упирающегося в выходы скал. Катена № 3 расположена в 6 км выше по течению от с. Нововоскресеновка. Здесь на протяжении 2 км заложено 14 почвенных разрезов. Пойма имеет выраженное двухступенчатое строение с перепадом высот между ступенями в 3–4 м. Первая ступень представляет собой несколько соединившихся островов с разнородной растительностью и многочисленными озерами и болотами в депрессиях. Вторая ступень состоит из высокого берегового вала, на котором сформирован сосновый лес, переходящего в наклонную равнину, покрытую березовым лесом, упирающуюся в небольшое притеррасное болото и далее в горные холмы.

В среднем течении русло Амура относится преимущественно к широкопойменному типу. Катена № 4 расположена в 6 км выше по течению от с. Калинино. На катене, протяженностью 10 км, заложено 33 почвенных разреза. Пойма на данной территории состоит из двух частей. Первая часть – молодая пойма (возраст до 1 500 лет), имеет классическое строение: притеррасная пойма шириной около 3 км, центральная пойма около 3 км и небольшое притеррасное понижение до 500 м. Но за притеррасным понижением следует более древняя пойма (возраст 3 000–5 000 лет) в виде равнины плавно переходящей в террасо-увал, сформированный продуктами разрушения надпойменной террасы. Катена № 5 расположена между селами Красный Луч и Иннокентьевка в 8 км от

устья р. Бурья. Катена длиной 12 км и представлена 30 почвенными разрезами. Данная катена – единственная, которая не доходит до террасы, т. к. значительную часть поймы представляют труднопроходимые пойменные болота, где расположен Хинганский заповедник. Исследуемая часть поймы представляет собой равнину, которую пересекают многочисленные действующие и высохшие протоки.

Всего было заложено 96 почвенных разрезов. В каждом разрезе по генетическим горизонтам были отобраны образцы (всего 354). Названия почв давались в соответствии с классификацией и диагностикой почв России ([Шишов и др., 2004](#)) и классификацией WRB ([IUSS Working Group, 2014](#)). Отдел аллювиальных почв на всех участках одинаково представлен двумя почвенными типами: аллювиальная серогумусовая (Ал_д) “Umbric Fluvisols” и аллювиальная серогумусовая глеевая (Ал_{др}) “Umbric Fluvisols (HyperGleyic)”. В пределах типа аллювиальной серогумусовой почвы выделяется подтип аллювиальная серогумусовая глееватая почва (Ал_д¹) “Umbric Fluvisols (HupoGleyic)”. Заболоченные аллювиальные почвы в верхнем и среднем течении р. Амур различаются. В верхнем течении сумма положительных температур не позволяет органическому веществу полностью разлагаться, поэтому оно консервируется в виде торфа с образованием аллювиальных торфяно-глеевых почв (Ал_т) “Gleyic Histic Fluvisols”. В среднем же течении преобладают аллювиальные перегнойно-глеевые почвы (Ал_{пг}) “Gleyic Mollic Fluvisols”. Также выделены аллювиальные слоистые почвы (Ал_{сл}) “Protic Fluvisols” (отдел слаборазвитых почв). На возвышенных участках поймы интразональные процессы практически не участвуют в почвообразующих процессах, поэтому получили распространение остаточно-аллювиальные почвы. В верхнем течении – это ржавоземы остаточно-аллювиальные (Рж) “Brunic Arenosols”, относящиеся к отделу железисто-метаморфические почв. В среднем течении – брунеземы остаточно-аллювиальные (Бл) “Fluvisols Phaeozems”. Брунеземы или бурые-луговые почвы отсутствуют в Классификации и диагностике почв России ([2004](#)) и выделяются преимущественно в классификациях дальневосточных почв ([Ознобихин и др., 1994](#)).

Определение свойств почв проводили в Аналитическом цен-

тре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН. Подвижные формы фосфора (P_2O_5) определялись методом А.Т. Кирсанова ([Новицкий и др., 2009](#)). Выбор данного метода обусловлен его преимущественным использованием в бескарбонатной, нечерноземной зоне ([Королева, 2010](#)).

При статистической обработке данных использовались методы описательной статистики: медиана, минимум-максимум, процентиль. При анализе распределения P_2O_5 в катене в латеральном и радиальном направлениях использовались графики рассеивания с наложением полиномиальных трендов и коэффициентов корреляции, характеризующих зависимость содержания P_2O_5 от протяженности катены. Все расчеты проводились в программе Statistica v.10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание P_2O_5 в пойменных почвах характеризуется сильным варьированием значений даже в пределах одного почвенного типа. При подобных переменных целесообразно использовать не среднее, а медианное содержание, более соответствующее истине. В верхнем течении р. Амур максимальное медианное содержание P_2O_5 отмечается в гумусово-аккумулятивных горизонтах слоистых почв, минимальное – в почвообразующих горизонтах торфяно-глеевых почв. Разброс минимальных/максимальных значений указывает, что серогумусовые, а также серогумусовые глееватые и глеевые почвы, в сравнении с другими почвами, характеризуются большим варьированием почвенных свойств, влияющих на динамику P_2O_5 . Распределение P_2O_5 в профиле аллювиальных почв преимущественно убывающее, в остаточнo-аллювиальных ржавоземах – бимодальное со снижением в структурно-метаморфических горизонтах (рис. 2). В среднем течении Амура максимальное медианное содержание P_2O_5 определяется также в гумусо-аккумулятивных горизонтах слоистых почв, минимальное – в структурно-метаморфических горизонтах brunезомов. Наибольшим разбросом между минимальным и максимальным содержанием характеризуются серогумусовые и перегнойно-глеевые почвы. Распределение P_2O_5 в профиле слоистых почв убывающее.

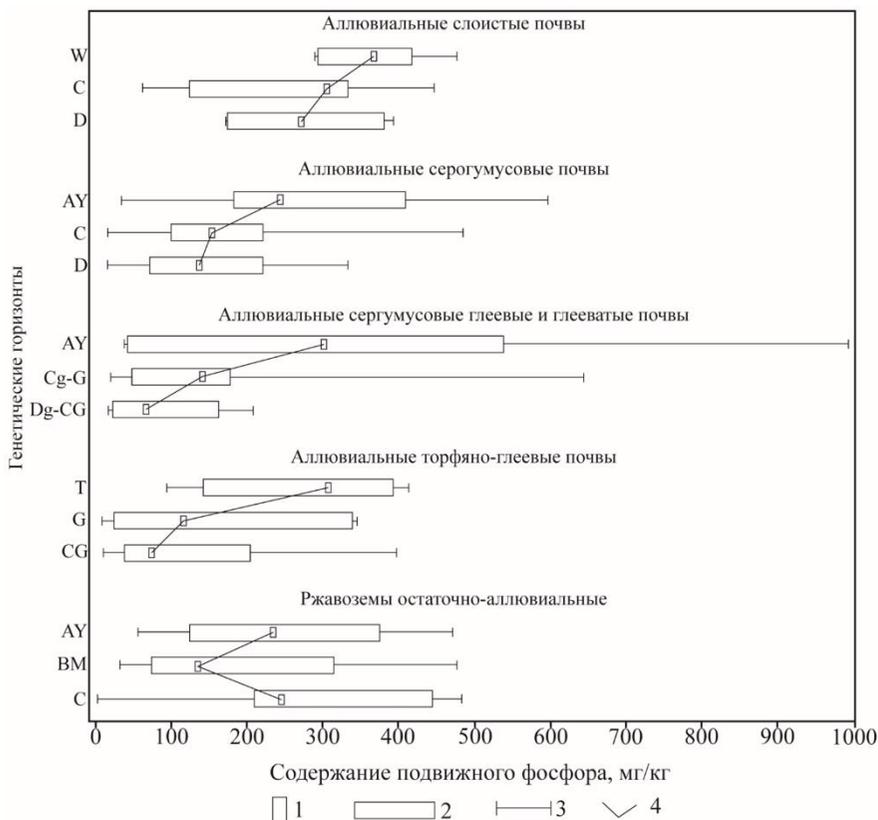


Рис. 2. Медианное, минимальное и максимальное содержание подвижных форм фосфора по генетическим горизонтам в пойменных почвах верхнего Амура. Условные обозначения: 1 – медианное содержание; 2 – процентиль 25–75%; 3 – минимум/максимум; 4 – кривая распределения медианного содержания в почвенном профиле.

Fig. 2. Median, minimum and maximum content of available for plants phosphorus in genetic horizons of floodplain soils of the upper Amur. Legend: 1 – median content; 2 – percentile 25–75%; 3 – minimum/maximum; 4 – distribution curve of the median content in the soil profile.

В остальных почвах распределение бимодальное, с убыванием в средней части профиля в серогумусовых, перегнойно-

глеевых и брунеземах и с накоплением в серогумусовых глеевых и глееватых почвах (рис. 3).

Содержание P_2O_5 в катенах верхнего Амура снижается от катены № 1 к катене № 3. Более высоким содержанием P_2O_5 в большинстве случаев характеризуются гумусово-аккумулятивные горизонты. Исключение составляют минеральные горизонты в прирусловой части поймы катены № 1 и притеррасной части поймы катены № 2. Латеральное распределение P_2O_5 в катенах верхнего течения, в пределах гумусово-аккумулятивного горизонта, характеризуется выгнутой бимодальной кривой в катене № 1 и вогнутой – в катенах № 2 и № 3. В минеральных горизонтах – бимодальное в катенах № 1 и № 2, и убывающее в катене № 3. В среднем течении Амура содержание P_2O_5 возрастает от катены № 4 к катене № 5. Латеральное распределение P_2O_5 в катене № 4 и минеральных горизонтах катены № 5 убывающее, в гумусово-аккумулятивных горизонтах – выраженное вогнутое бимодальное. Радиальное распределение характеризуется повышенным содержанием P_2O_5 в гумусово-аккумулятивных горизонтах, за исключением террасо-увала в катене № 4. Среднее содержание в катенах по ходу русла р. Амур формирует бимодальную кривую, вогнутую в центре во всех горизонтах, но с минимумом в подстилающих горизонтах (рис. 4).

Коэффициенты корреляции (r) между P_2O_5 и длиной катен характеризуются сильной и средней взаимосвязью в минеральных горизонтах катен № 3 и № 5 и в гумусово-аккумулятивных горизонтах катены № 2. Также сильной взаимосвязью обладают r между P_2O_5 и руслом реки (рис. 4).

В [1976 Walker and Syers](#) разработали модель трансформации фосфора в зависимости от развития почвы. Согласно модели, на ранних стадиях почвообразования преобладают первичные минералы фосфатов.

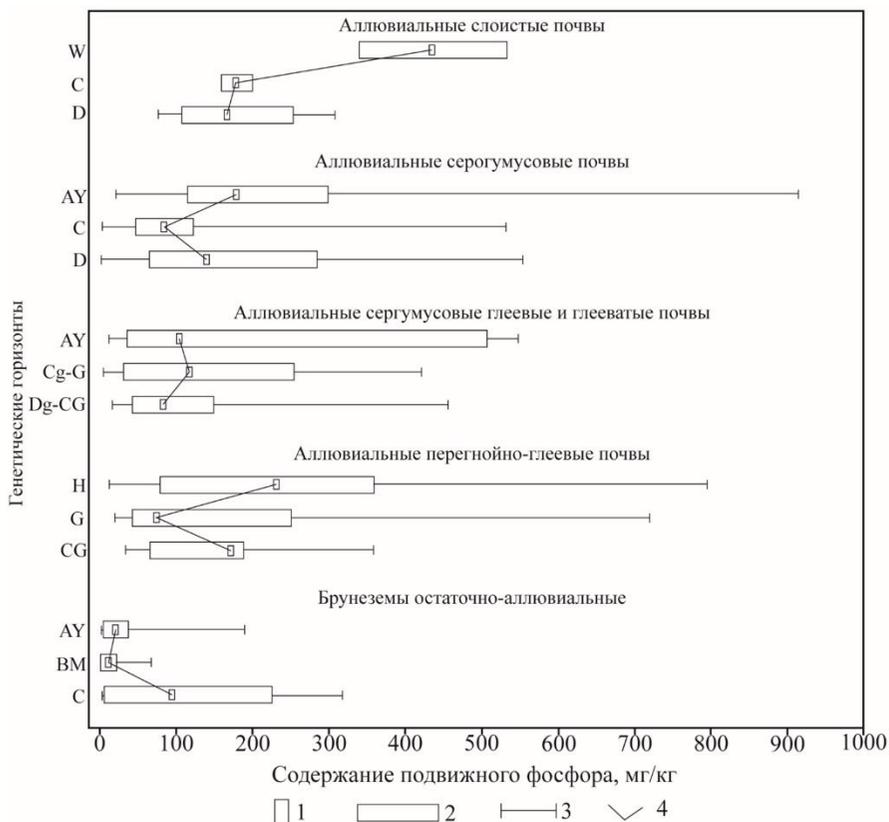
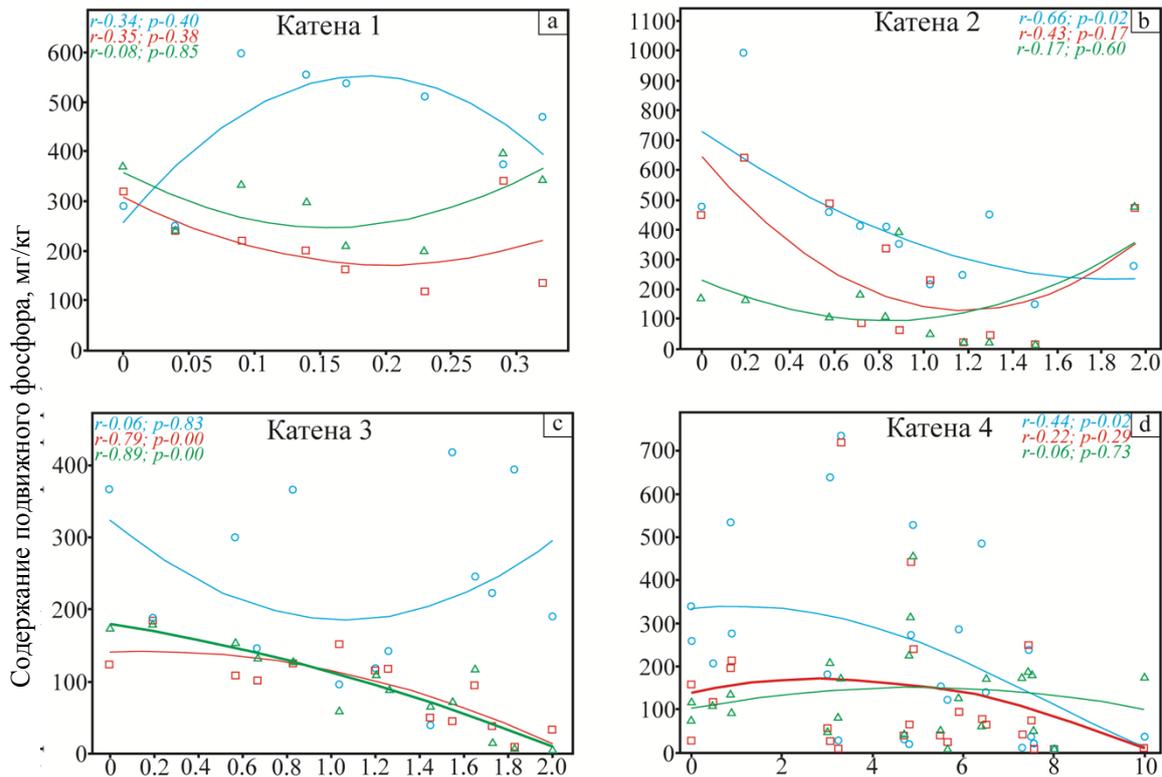


Рис. 3. Медианное, минимальное и максимальное содержание подвижных форм фосфора по генетическим горизонтам в пойменных почвах среднего Амура. Условные обозначения: 1 – медианное содержание; 2 – процентиль 25–75%; 3 – минимум/максимум; 4 – кривая распределения медианного содержания в почвенном профиле.

Fig. 3. Median, minimum and maximum content of available for plants phosphorus in genetic horizons of floodplain soils of the middle Amur. Legend: 1 – median content; 2 – percentile 25–75%; 3 – minimum/maximum; 4 – distribution curve of the median content in the soil profile.



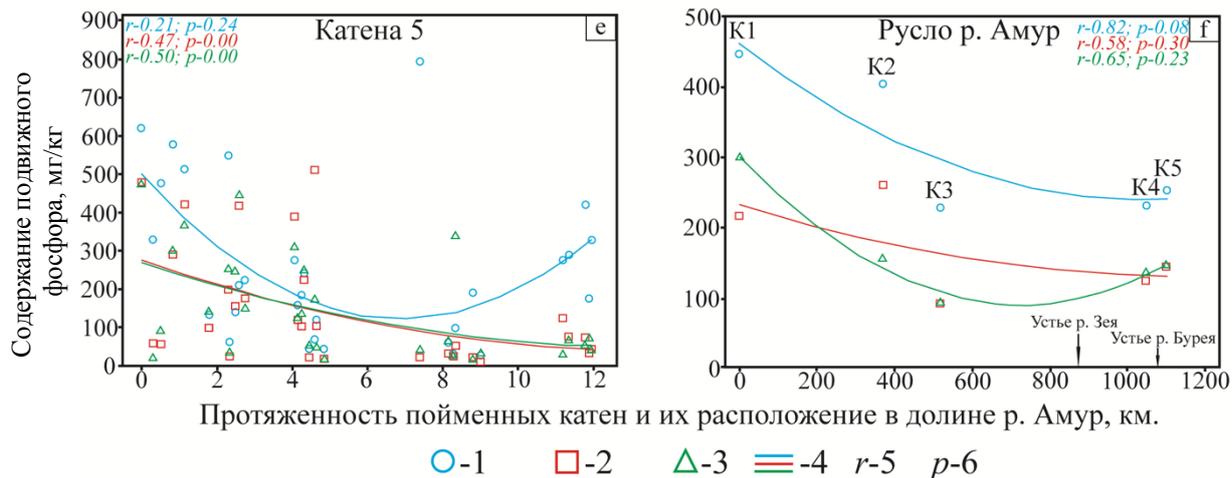


Рис. 4. Графики рассеивания, характеризующие содержание подвижных форм фосфора по генетическим горизонтам в геохимических катенах и в долине р. Амур. Условные обозначения: 1 – содержание P_2O_5 в органических горизонтах; 2 – содержание P_2O_5 в почвообразующих горизонтах аллювиальных почв и структурно-метаморфических горизонтах остаточно-аллювиальных почв; 3 – содержание P_2O_5 в подстилающих горизонтах аллювиальных почв и почвообразующих горизонтах остаточно-аллювиальных почв; 4 – полиномиальный тренд; 5 – коэффициент корреляции, характеризующий зависимость содержания P_2O_5 от протяженности катены; 6 – коэффициент достоверности.

Fig. 4. Dispersion plots characterizing the content of available for plants phosphorus in genetic horizons of geochemical catenas and in the Amur River valley. Legend: 1 – P_2O_5 content in organic horizons; 2 – P_2O_5 content in the soil-forming horizons of alluvial soils and structural-metamorphic horizons of residual alluvial soils; 3 – the content of P_2O_5 in the underlying horizons of alluvial soils and parent horizons of residual alluvial soils; 4 – polynomial trend; 5 – correlation coefficient characterizing the dependence of the phosphorus content on the length of a catena; 6 – coefficient of reliability.

Постепенно они растворяются, а высвободившийся фосфор частично поглощается растениями, а частично иммобилизуется на поверхности вторичных минералов ([Gérard, 2016](#)) и почвенных оксидах, преимущественно железа и алюминия ([Maranguit et al., 2017](#)). Поэтому с возрастом почв содержание валового фосфора будет снижаться, и в нем будет возрастать доля окклюзированного и органического фосфора, что ведет к уменьшению содержания P_2O_5 в почвенном растворе ([Walker, Syers, 1976](#)).

Данная модель хорошо объясняет почему во всех катенах самое высокое содержание P_2O_5 в Al_{cl} – это самые молодые почвы в поймах, содержащие максимум фосфора в виде первичных минералов, активно подвергающихся внутрипочвенному выветриванию. При этом нужно отметить, что профилльное содержание P_2O_5 в Al_{cl} верхнего Амура в два раза выше, чем в аналогичных почвах среднего течения (рис. 2, 3). Аллювий, служащий почвообразующим субстратом, в ходе миграции с речными водами подвергается интенсивному гидрогенному выветриванию, что хорошо отражено в работе Sorokina, Gysev ([2018](#)) по притокам р. Амур. Минералы, содержащие фосфор, разрушаются, и он вымывается в речные воды. В результате, если нет притоков, подпитывающих основное русло минеральными взвесями, содержание фосфора в почвах уменьшается вниз по течению, что видно по среднему содержанию P_2O_5 в катенах вдоль русла р. Амур (рис. 4). Содержание P_2O_5 снижается от катены № 1 к катене № 3. В катенах № 4 и № 5 содержание P_2O_5 увеличивается за счет поступления аллохтонного вещества с рек Зея и Бурея, крупнейших притоков р. Амур, но незначительно. К моменту поступления в русло р. Амур аллохтонное вещество из притоков уже находится в достаточно выветрелом состоянии.

Немаловажное значение в содержании фосфора в пойменных почвах имеет характер русла реки и морфологическое строение пойменных массивов. Считается, что продуктивность поймы и доступность питательных веществ в почвах увеличиваются по ходу русла реки с увеличением мощности пойменных территорий ([Spink et al., 1998](#)). Однако наши исследования показали, что на подвижные формы фосфора в пойме р. Амур это правило не распространяется.

В верхнем течении русло р. Амур адаптивного типа, а поймы небольшие по размеру и зачастую ограничены выходами скал. Русло более узкое, а скорости течения выше, чем в среднем Амуре. В подобных условиях пойма чаще, но ненадолго, затапливается. Поемные воды занимают большую часть поймы, привнося свежее аллохтонное вещество и обновляя почвенный профиль ([Шраг, 1969](#); [Гусев, 2002](#)), что поддерживает запасы минералов, содержащих фосфор. В среднем течении русло широкопойменного типа, где ширина поймы может простираться до 20 км, а высота относительно условной межени – до 15 м. Они редко полностью затапливаются – только в период катастрофических паводков ([Гусев, 2013](#)). Почвы на повышенных гипсометрических уровнях испытывают дефицит свежего аллохтонного вещества, а органический фосфор подвержен окислению. Также в них активно протекают зональные процессы (буроземообразование), сопровождающиеся интенсивным внутripочвенным выветриванием. В результате пойменные почвы среднего течения р. Амур, по отношению к верхнему, менее обеспечены соединениями фосфора, что сказывается и на его подвижной форме. В среднем содержание P_2O_5 в почвенном профиле снизилось в Ал_д на 80 мг/кг, в Ал_{дг} и Ал_{дг}^r на 40 мг/кг, в Ал_{пг} на 10 мг/кг.

По приведенным данным видно, что чем сильнее развиты глеевые процессы в почвах, тем слабее выражена разница по содержанию подвижных форм фосфора между почвами верхнего и среднего течения. В глеевых горизонтах формируются особые аэробные условия, при которых Fe^{+3} , с которым активно связывается фосфор, используется как акцептор электронов для микробного разложения с восстановлением до Fe^{+2} и высвобождением фосфора ([Maranguit et al., 2017](#)). Грунтовые воды нейтрализуют рН, повышая мобильность Al и связанного с ним фосфора. Снижается степень насыщенности основаниями ([Chacon et al., 2005](#)). Первичные минералы подвергаются активной деструкции ([Зайдельман, 2009](#)). Эти процессы приводят к мобилизации и повышению концентрации P_2O_5 в почвенно-грунтовых водах, и чем сильнее развиты глеевые процессы, тем больше подвижных форм фосфора в почвах.

В верхнем Амуре интенсивно развитые поемный и аллювиальные процессы способствуют частому обновлению почвенного профиля, тормозя почвообразующие, в том числе глеевые, процессы. Также для развития глеевых процессов необходимы водорастворимые, легкоподвижные органические вещества (фульвокислоты, полифенолы, аминокислоты и др.) ([Зайдельман, 2009](#)), которых при торфообразовании в $Al_{тг}$ выделяется меньше, чем в перегнойном горизонте $Al_{пг}$. По этой причине в почвах верхнего Амура больше валового фосфора, но слабее развиты глеевые процессы, а в почвах среднего Амура содержание валового фосфора ниже, но глеевые процессы более интенсивные, таким образом, среднее содержание P_2O_5 в этих почвах сопоставимо. Необходимо отметить, что при достижении бóльшей концентрации P_2O_5 в почвенно-грунтовых водах, по сравнению с грунтовыми или речными водами, он начинает активно вымываться ([Carlyle, Hill, 2001](#)), а ему на смену из почвенных минералов и оксидов поступает новый P_2O_5 . При длительном течении процессов оглеения содержание валового фосфора, а следом и его подвижных форм, может значительно снижаться. На это указывает резкое уменьшение содержания P_2O_5 в глеевом горизонте $Al_{пг}$.

Самое значительное снижение P_2O_5 отмечено в остаточно-аллювиальных почвах (на 200 мг/кг). Различиями в почвенных параметрах столь сильную дифференциации по P_2O_5 между Бл и Рж объяснить нельзя. В Рж и Бл, в сравнении с Al_d и Al_d^r , из которых они формируются, тяжелее гранулометрический состав, повышены емкость катионного обмена и содержание не силикатного Fe_2O_3 , но превышение незначительно. Между собой они различаются только морфологически и по pH, Рж более кислые. Однако анализ латерального распределения P_2O_5 в катенах показал следующую особенность: наблюдается повышенное содержание фосфора не только в Рж, но и в аллювиальных почвах, на которых сформировался березовый лес (рис. 4). Брунетемы же развиваются под луговой растительностью. Данную особенность березы как аккумулятора фосфора отмечают в ряде работ ([Matkala et al., 2020](#); [Lukina et al., 2019](#)), но четкого мнения о причинах этого явления нет. Это может объясняться особенностью разложения березового опада, при котором подвижные формы фосфора активно высво-

бождаются ([Rinnan et al., 2008](#)). Также есть предположение, что корни древесных растений, в сравнении с луговой и кустарниковой растительностью, обладают высокой транспортирующей и удерживающей способностью в отношении макро- и микроэлементов ([Jobbágy, Jackson, 2004](#)). При этом в аллювиальных почвах, сформированных в среднем течении под дубовым лесом, содержание P_2O_5 лишь немногим выше, чем в почвах, развитых под луговой растительностью.

Радиальное распределение P_2O_5 показывает, что в аллювиальных почвах он накапливается преимущественно в гумусово-аккумулятивных горизонтах (рис. 2, 3, 4). Это связано со следующими факторами: 1) разрушение первичных минералов более интенсивно протекает в зоне влияния органических кислот, продуцируемых растениями, т. е. в ризосфере ([Hinsinger et al., 2011](#)); 2) в гумусово-аккумулятивном горизонте аллювиальных почв активно, в сравнении с минеральными горизонтами, разрушаются первичные и формируются вторичные глинистые минералы и органоминеральные соединения ([Соколова и др., 2005](#); [Gérard, 2016](#)), способные сорбировать подвижные формы фосфора.

В остаточо-аллювиальных Рж и Бл P_2O_5 накапливается в почвообразующих горизонтах. Это можно объяснить процессом лессиважа, который сопровождает процесс буроземообразования ([Зонн, 1974](#)). В почвообразующие горизонты выносятся соединения железа, алюминия и глинистые минералы, сорбирующие большое количество подвижных форм фосфора. Снижение P_2O_5 в средней части профиля Ал_д среднего Амура показывает, что процесс лессиважа может начинаться в автоморфных почвах еще на стадии аллювиального почвообразования.

Латеральное распределение P_2O_5 в катенах также показывает его зависимость от возраста почв и характера растительности, формируя пики возле русла (в молодых почвах) и возле березовых лесов (рис. 4). В гумусово-аккумулятивных горизонтах под луговой растительностью и в минеральных горизонтах при удалении от русла содержание P_2O_5 главным образом снижается. В катене № 3 и катене № 5 снижение P_2O_5 сопровождается средне- и высокодостоверными коэффициентами корреляции, что указывает на схожее исходное содержание общего фосфора, подвергающееся

внутрипочвенному выветриванию в ходе эволюции аллювиальных почв. Данное предположение согласуется с мнением Никольской В.В. и Григорян Д.П. (1958) о том, что для р. Амур характерны хорошо выраженные, относительно постоянные во времени минералогические провинции, указывающие на однородность твердого стока и схожесть минералогического состава аллювиальных отложений поймы. В минеральных горизонтах этот процесс прослеживается лучше из-за отсутствия влияния накопительного фактора биоты. Отсутствие достоверных коэффициентов корреляций в катене № 4 связано с двучленным, разновозрастным строением поймы. В катене № 1 и № 2 последние почвенные разрезы катен заложены впритык к выходу скал. В их морфологическом облике есть признаки склоновых процессов в виде включений щебня и дресвы, т. е. они испытывают приток фосфора с делювием, формирующимся в ходе экзогенного выветривания горных пород.

Пойма р. Амур активно используется в хозяйственной деятельности человека, и немаловажное значение имеет практическая оценка исследуемой территории по обеспеченности P_2O_5 в соответствии с потребностями сельского хозяйства. В таблицах 1 и 2 приведены данные для сравнения содержания P_2O_5 в исследуемых почвах и потребности разных культур в обеспечении почв P_2O_5 в вытяжке Кирсанова, по данным из работы Куликовой А.Х. (2007). Так как данные по обеспеченности подвижными формами фосфора чаще всего приводятся для пахотных горизонтов, то сравниваться они будут с гумусово-аккумулятивным горизонтами.

По таблицам видно, что обеспеченность P_2O_5 у пойменных почв верхнего Амура в отношении всех культур высокая или средняя. Но небольшой размер пойменных массивов, частые паводки и холодный климат не позволяют активно использовать данные территории. Чаще всего они используются как пастбища и сенокосы. Поймы среднего Амура задействованы в сельском хозяйстве более чем на 50%. Преимущественно это Al_d , Al_d^r и Bl . Слоистые почвы занимают очень незначительные территории, а использование серогумусовых глеевых и перегнойно-глеевых почв требует значительных затрат на мелиорацию. Серогумусовые и серогумусовые глееватые почвы позволяют использовать их для

выращивания зерновых, бобовых и кормовых культур без внесения удобрений. В брунземах подвижные формы фосфора является лимитирующим фактором и необходимо внесение больших доз фосфорных удобрений.

Таблица 1. Содержание подвижных форм фосфора в гумусово-аккумулятивном горизонте пойменных почв р. Амур
Table 1. The content of available for plants phosphorus in the humus-accumulative horizon of the floodplain soils of the Amur River

Тип почв	Медианное содержание P_2O_5 в гумусово-аккумулятивном горизонте	
	Верхний Амур	Средний Амур
Аллювиальные слоистые	367	436
Аллювиальные серогумусовые	244	178
Аллювиальные серогумусовые глеевые и глееватые	302	104
Аллювиальные торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые	308	232
Остаточно-аллювиальные ржавоземы и брунземы	235	20

Таблица 2. Обеспеченность почв подвижными формами фосфора исходя из потребностей с/х культур
Table 1. Categories of available for plants phosphorus supply in soils based on the needs of agricultural crops

Обеспеченность подвижными формами фосфора	Содержание P_2O_5 , мг/кг		
	зерновые и зернобобовые	кормовые корнеплоды, картофель	овощные, технические культуры
Очень низкая	<30	<80	<150
Низкая	<80	<150	<200
Средняя	80–150	150–200	200–300
Высокая	>150	>200	>300

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что подвижные формы фосфора не являются фактором, лимитирующим плодородие почв в пойме верхнего и среднего Амура. Исключение составляют брунетземы, однако они являются пойменными почвами лишь номинально. Морфологически они формируются в пределах поймы, но при этом полностью вышли из зоны пойменного режима. Наложение полученных данных о содержании P_2O_5 в почвах катен на русло Амура позволяет сделать предположение, что в нижнем течении в большинстве почв будет наблюдаться его дефицит. Латеральное профильное содержание подвижных форм фосфора в пойменных массивах уменьшается от русла к террасам. Поэтому самые обеспеченные фосфором почвы – примитивные аллювиальные слоистые. Увеличение ширины и высоты поймы способствует затуханию пойменных и аллювиальных процессов, обеспечивающих поддержание фосфорного баланса в почвах, и интенсифицирует внутрпочвенное выветривание, что приводит к снижению содержания подвижных форм фосфора.

По радиальному распределению подвижные формы фосфора тяготеют к гумусо-аккумулятивному горизонту за счет разрушающей и транспортирующей деятельности корней растений. При этом сильным аккумулятором подвижных форм фосфора является березовый лес. Развитие глеевых процессов в аллювиальных почвах на начальных этапах эволюции почв по гидроморфному типу способствует поддержанию высокого содержания в почвах подвижных форм фосфора. Но в долгосрочной перспективе может привести к истощению его запасов в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артемьева З.С.* Роль органических и органо-минеральных составляющих в формировании фосфатного режима пахотных горизонтов эрозионно-деградированных агродерново-подзолистых почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. №. 78. С. 70–78. DOI: [10.19047/0136-1694-2015-78-70-86](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-78-70-86).
2. *Барбер С.А.* Биологическая доступность питательных веществ в почве. М.: Агропромиздат, 1988. 376 с.
3. *Возбуцкая А.Е.* Химия почвы. М.: Высшая школа, 1968. 427 с.

4. *Гусев М.Н.* Морфодинамика днища долины Верхнего Амура. Владивосток: Дальнаука, 2002. 232 с.
5. *Гусев М.Н., Помигуев Ю.В.* Формирование днища долины реки Амур на участке от устья реки Зея до Хинганского ущелья // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 121–129.
6. *Ельшаева И.В.* Фосфатный режим светло-серых лесных почв: Дис. ... к. с.-х. наук: Спец. 06.0Г04. Санкт-Петербург, 1998. 128 с.
7. *Зайдельман Ф.Р.* Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. 720 с.
8. *Зонн С.В.* Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Русской Равнины. М.: Изд-во Наука, 1974. 275 с.
9. *Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Карпунин А.И., Карпова Д.В.* Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия // Плодородие. 2009. № 1. С. 4–7.
10. *Кидин В.В., Торшин С.П.* Агрохимия. М.: Проспект, 2016. 608 с.
11. *Королева И.Е.* Выбор методов оценки изменения фосфатного и калийного состояния почв при антропогенном воздействии // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2010. № 65. С. 48–57. DOI: [10.19047/0136-1694-2010-65-48-57](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2010-65-48-57).
12. *Корзун М.А., Костюхин Л.Н., Тарасова Г.Н., Шевчук В.С.* Подвижный фосфор в серых лесных почвах Тулуно-Иркутской лесостепи // Агрохимия. 1993. № 10. С. 97–103.
13. *Куликова А.Х.* Агроэкологическая оценка почвенного покрова и воспроизводство плодородия почвы. Ульяновск: УГСХА, 2007. 44 с.
14. *Новицкий М.В., Донских Д.В., Чернов И.Н.* Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2009. 320 с.
15. *Ознобихин В.И., Синельников Э.П., Рыбачук Н.А.* Классификация и агропроизводственные группировки почв Приморского края. Владивосток. ДВО РАН, 1994. 93 с.
16. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толмешта И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.
17. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Том 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 608 с.
18. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
19. *Шраг В.И.* Пойменные почвы и их сельскохозяйственное использование. М.: Россельхозиздат, 1969. 270 с.

20. Янин А.Л., Жарков М.А. Фосфор и калий в природе. Новосибирск: Изд-во Наука, Сибирское отделение, 1986. 188 с.
21. Alexander R.B., Smith R.A., Schwarz G.E., Boyer E.W., Nolan J.V., Brakebill J.W. Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin // *Environmental Science & Technology*. 2008. Vol. 42. P. 822–830. DOI: [10.1021/es0716103](https://doi.org/10.1021/es0716103).
22. Amarawansa G., Kumaragamage D., Flaten D., Zvomuya F., Tenuta M. Phosphorus mobilization from manure-amended and unamended alkaline soils to overlying water during simulated flooding // *Journal of Environmental Quality*. 2015. Vol. 44. P. 1252–1262. DOI: [10.2134/jeq2014.10.0457](https://doi.org/10.2134/jeq2014.10.0457).
23. Bagyaraj D.J., Krishnaraj P.U., Khanuja S.P.S. Mineral phosphate solubilization: agronomic implications, mechanism and molecular genetics // *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 2000. Vol. 66 (2, 3). P. 69–82.
24. Bordena R.W., Baillie I.C., Hallett S.H. The East African contribution to the formalisation of the soil catena concept // *Catena*. 2020. Vol. 185. 104291. DOI: [10.1016/j.catena.2019.104291](https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104291).
25. Bostrom B., Andersen J.M., Fleischer S., Jansson M. Exchange of phosphorus across the sediment-water interface // *Hydrobiologia*. 1988. Vol. 170. P. 229–244.
26. Carlyle G.C., Hill A.R. Groundwater phosphate dynamics in a river riparian zone: Effects of hydrologic flow paths, lithology, and redox chemistry // *Journal of Hydrology*. 2001. Vol. 247. P. 151–168. DOI: [10.1016/S0022-1694\(01\)00375-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00375-4).
27. Chacon N., Dezzio N., Munoz B., Rodriguez J. Implications of soil organic carbon and the biogeochemistry of iron and aluminum on soil phosphorus distribution in flooded forests of the lower Orinoco River, Venezuela // *Biogeochemistry*. 2005. Vol. 73. P. 555–566. DOI: [10.1007/s10533-004-1773-7](https://doi.org/10.1007/s10533-004-1773-7).
28. Chen C.R., Condon L.M., Davis M.R., Sherlock R.R. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand // *Forest Ecology and Management*. 2003. Vol. 177. P. 539–557. DOI: [10.1016/S0378-1127\(02\)00450-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00450-4).
29. Fink J.R., Inda A.V., Tiecher T., Barrón V. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability // *Ciência e Agrotecnologia*. 2016. Vol. 40 (4). P. 369–379. DOI: [10.1590/1413-70542016404023016](https://doi.org/10.1590/1413-70542016404023016).
30. Gérard F. Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils – A myth revisited // *Geoderma*. 2016. Vol. 262. P. 213–226. DOI: [10.1016/j.geoderma.2015.08.036](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.036).
31. Hinsinger P., Brauman A., Devau N., Gerard F., Jourdan C., Laclau J-P., Cadre E., Jaillard B., Plassard C. Acquisition of phosphorus and other poorly

- mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? // *Plant and Soil*. 2011. Vol. 348. P. 29–61. DOI: [10.1007/s11104-011-0903-y](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0903-y).
32. 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.
33. *Jana B.B.* Distribution pattern and role of phosphate solubilizing bacteria in the enhancement of fertilizer value of rock phosphate in aquatic ponds: state-of-the-art. In: First international meeting on microbial phosphate solubilization. Springer, 2007. Vol. 102. P. 229–238. DOI: [10.1007/978-1-4020-5765-6_34](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5765-6_34).
34. *Jobbágy E.G., Jackson R.B.* The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales // *Ecology*. 2004. Vol. 85. P. 2380–2389. DOI: [10.1890/03-0245](https://doi.org/10.1890/03-0245).
35. *Krögera R., Moore M.T.* Phosphorus dynamics within agricultural drainage ditches in the lower Mississippi Alluvial Valley // *Ecological Engineering*. 2011. Vol. 37. P. 1905–1909. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2011.06.042](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.042).
36. *Lair G.J., Zehetner F., Fiebig M., Gerzabek M.H., van Gestel C.A.M., Hein T., Hohensinner S., Hsu P., Jones K.C., Jordan G., Koelmans A.A., Poot A., Slijkerman D.M.E., Totsche K.U., Bondar-Kunze E., Barth J.A.C.* How do long-term development and periodical changes of river–floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers // *Environmental Pollution*. 2009. Vol. 157. P. 3336–3346. DOI: [10.1016/j.envpol.2009.06.004](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.06.004).
37. *Lehmann J., Lan Z., Hyland C., Sato S., Solomon D., Ketterings Q.M.* Long-term dynamics of phosphorus forms and retention in manure-amended soils // *Environmental Science and Technology*. 2005. Vol. 39. P. 6672–6680. DOI: [10.1021/es047997g](https://doi.org/10.1021/es047997g).
38. *Lukina N., Tikhonova E., Danilova M., Bakhmet O., Kryshen A., Tebenkova D., Kuznetsova A., Smirnov A., Braslavskaya T., Gornov A., Shashkov M., Knyazeva S., Kataev A., Isaeva L., and Zukert N.* Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia // *Forest Ecosystems*. 2019. Vol. 6 (34). P. 1–19. DOI: [10.1186/s40663-019-0190-2](https://doi.org/10.1186/s40663-019-0190-2).
39. *Maranguita D., Guillaumec T., Kuzyakova Y.* Effects of flooding on phosphorus and iron mobilization in highly weathered soils under different land-use types: Short-term effects and mechanisms // *Catena*. 2017. Vol. 158. P. 161–170. DOI: [10.1016/j.catena.2017.06.023](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.023).
40. *Matkala L., Salemaa M., Back J.* Soil total phosphorus and nitrogen explain vegetation community composition in a northern forest ecosystem near a phosphate massif // *Biogeosciences*. 2020. Vol. 17. P. 1535–1556. DOI: [10.5194/bg-17-1535-2020](https://doi.org/10.5194/bg-17-1535-2020).

41. *Owens P.N., Walling D.E.* The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins // *Water Research*. 2002. Vol. 36 (3). P. 685–701. DOI: [10.1016/S0043-1354\(01\)00247-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00247-0).
42. *Quintero C.E., Gutiérrez-Boem F.H., Befani M.R., Boschetti N.G.* Effects of soil flooding on P transformation in soils of the Mesopotamia region, Argentina // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2007. Vol. 170. P. 500–505. DOI: [10.1002/JPLN.200625015](https://doi.org/10.1002/JPLN.200625015).
43. *Rakotoson T., Rabeharisoa T., Smolders E.* Effects of soil flooding and organic matter addition on plant accessible phosphorus in a tropical paddy soil: an isotope dilution study // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2016. Vol. 179 (6). P. 765–774. DOI: [10.1002/jpln.201500383](https://doi.org/10.1002/jpln.201500383).
44. *Richardson A.E., George T.S., Maarten H., Simpson R.J.* Utilization of soil organic phosphorus by higher plants // *Organic phosphorus in the environment*. 1st edn. CABI Publishing, Cambridge, 2005. P. 165–184. DOI: [10.1079/9780851998220.0165](https://doi.org/10.1079/9780851998220.0165).
45. *Rinnan R., Michelsen A., Jonasson S.* Effects of litter addition and warming on soil carbon, nutrient pools and microbial communities in a subarctic heath ecosystem // *Applied Soil Ecology*. 2008. Vol. 39. P. 271–281. DOI: [10.1016/j.apsoil.2007.12.014](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.12.014).
46. *Rogova O.B., Kolobova N.A., Ivanov A.L.* Phosphorus sorption capacity of gray forest soil as dependent on fertilization system // *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 5, pp. 536–541. DOI: [10.1134/S1064229318050101](https://doi.org/10.1134/S1064229318050101).
47. *Salazar O., Fuentes I., Seguel O., Nájera F., Casanova M.* Assessment of nitrogen and phosphorus pathways at the profile of over-fertilised alluvial soils. Implications for best management practices // *Water, Air & Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. No. 223. DOI: [10.1007/s11270-018-3854-6](https://doi.org/10.1007/s11270-018-3854-6).
48. *Søndergaard M., Jensen J.P., Jeppesen E.* Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes // *Hydrobiologia*. 1999. Vol. 408/409. P. 145–152.
49. *Sorokina O.A., Gysev M.N.* Weathering reflected by the chemical composition of alluvial soils from the Zeya and Selemdzha river valleys // *Science China Earth Sciences*. 2018. Vol. 61 (5). P. 604–613. DOI: [10.1007/s11430-017-9162-5](https://doi.org/10.1007/s11430-017-9162-5).
50. *Spink A., Sparks R.E., van Oorschot M., Verhoeven J.T.A.* Nutrient dynamics of large river floodplains // *Regulated Rivers Research & Management*. 1998. Vol. 14. P. 203–16.
51. *Tiessen H., Stewart J.W.B., Cole C.V.* Pathways of phosphorous transformations in soils of differing pedogenesis // *Soil Science Society of America Journal*. 1984. Vol. 48. P. 853–858.
52. *Walker T.W., Syers J.K.* The fate of phosphorus during pedogenesis // *Geoderma*. 1976. Vol. 15. P. 1–19.
53. *Wardle D.A., Walker L.R., Bardgett R.D.* Ecosystem properties and forest

decline in contrasting long-term chronosequences // Science. 2004. Vol. 305. P. 509–513. DOI: [10.1126/science.1098778](https://doi.org/10.1126/science.1098778).

REFERENCES

1. Artemieva Z.S., The role of organic and organo-mineral components in the formation of the phosphate regime in plough horizons of erosion-degraded agro soddy-podzolic soils, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2015, Vol. 78, pp. 70–86, DOI: [10.19047/0136-1694-2015-78-70-86](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2015-78-70-86).
2. Barber S.A., *Biologicheskaya dostupnost' pitatel'nykh veshchestv v pochve* (Bioavailability of nutrients in the soil), Moscow: Agropromizdat, 1988, 376 p.
3. Vozbutskaya A.E., *Khimiya pochvy* (Soil chemistry), Moscow: Vysshaya shkola, 1968, 427 p.
4. Gusev M.N., *Morfodinamika dnishcha doliny Verkhnego Amura* (Morphodynamics of the bottom of the valley of the Amur River upper reaches), Vladivostok: Dal'nauka, 2002, 232 p.
5. Gusev M.N., Pomiguyev Yu.V., Formirovanie dnishcha doliny reki Amur na uchastke ot ust'ya reki Zeya do Khinganskogo ushel'ya (Formation of the bottom of the Amur River valley in the section from the mouth of the Zeya River to the Khingan gorge), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2013, No. 4, pp. 121–129.
6. El'shaeva I.V., *Fosfatnyi rezhim svetlo-serykh lesnykh pochv: Dis. ... kand. s.-kh. nauk* (Phosphate regime of light gray forest soils: Cand. agricultural. sci. thesis), Sankt-Peterburg, 1998, 128 p.
7. Zaidel'man F.R., *Genezis i ekologicheskie osnovy melioratsii pochv i landshaftov* (Genesis and ecological foundations of soil and landscape reclamation), Moscow: KDU, 2009, 720 p.
8. Zonn S.V., *Burozemoobrazovanie i psevdopodzolivanie v pochvakh Russkoi Ravniny* (Brown soil formation and pseudopodzolization in the soils of the Russian Plain), Moscow: Izdatel'svo Nauka, 1974, 275 p.
9. Ivanov A.L., Sychev V.G., Derzhavin L.M., Karpukhin A.I., Karpova D.V., Kompleks tekhnologicheskikh, agrokhimicheskikh i biologicheskikh vozdeistvii na fosfatnyi rezhim pochv i produktivnost' zemledeliya (Complex of technological, agrochemical and biological effects on the phosphate regime of soils and agricultural productivity), *Plodorodie*, 2009, No. 1, pp. 4–7.
10. Kidin V.V., Torshin S.P., *Agrokimiya* (Agrochemistry), Moscow: Prospekt, 2016, 608 p.
11. Koroleva I.E., Vybory metodov otsenki izmeneniya fosfatnogo i kaliinogo sostoyaniya pochv pri antropogennom vozdeistvii (The choice of methods for assessing changes in the phosphate and potassium state of soils under

anthropogenic impact), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2010, No. 65, pp. 48–57, DOI: [10.19047/0136-1694-2010-65-48-57](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2010-65-48-57).

12. Korzun M.A., Kostyukhin L.N., Tarasova G.N., Shevchuk B.C., Podvizhnyi fosfor v serykh-lesnykh pochvakh Tuluno-Irkutskoi lesostepi (Mobile phosphorus in gray forest soils of the Tuluno-Irkutsk forest-steppe), *Agrokhimiya*, 1993, No. 10, pp. 97–103.

13. Kulikova A.Kh., *Agroekologicheskaya otsenka pochvennogo pokrova i vosпроизводство plodorodiya pochvy* (Agroecological assessment of soil cover and reproduction of soil fertility), Ul'yanovsk: UGSKhA, 2007, 44 p.

14. Novitskii M.V., Donskikh D.V., Chernov I.N., *Laboratorno-prakticheskie zanyatiya po pochvovedeniyu* (Laboratory and practical classes in soil science), St-Petersburg: Prospekt Nauki, 2009, 320 p.

15. Oznobikhin V.I., Sinel'nikov E.P., Rybachuk N.A., *Klassifikatsiya i agroпроизvodstvennye gruppировки почв Приморского края* (Classification and agro-industrial groupings of soils in Primorsky region), Vladivostok, DVO RAN, 1994, 93 p.

16. Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshta I.I., *Glinistye mineraly v pochvakh* (Clay minerals in soils), Tula: Grif i K, 2005, 336 p.

17. Chalov R.S., *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. Tom 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* (River channels: theory, geography, practice. Volume 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions for the formation of river channels), Moscow: Izdatel'svo LKI, 2007, 608 p.

18. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I. Gerasimova M.I., *Klassifikatsiya i diagnostika почв России* (Classification and diagnostics of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.

19. Shrag V.I., *Poimennye pochvy i ikh sel'skokhozyaistvennoe ispol'zovanie* (Floodplain soils and their agricultural use), Moscow: Rossel'khozizdat, 1969, 270 p.

20. Yanshin A.L., Zharkov M.A., *Fosfor i kalii v prirode* (Phosphorus and potassium in nature), Novosibirsk: Izdatel'stvo Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1986, 188 p.

21. Alexander R.B., Smith R.A., Schwarz G.E., Boyer E.W., Nolan J.V., Brakebill J.W., Differences in phosphorus and nitrogen delivery to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin, *Environmental Science & Technology*, 2008, Vol. 42, pp. 822–830, DOI: [10.1021/es0716103](https://doi.org/10.1021/es0716103).

22. Amarawansa G., Kumaragamage D., Flaten D., Zvomuya F., Tenuta M., Phosphorus mobilization from manure-amended and unamended alkaline soils to overlying water during simulated flooding, *Journal of Environmental Quality*, 2015, Vol. 44, pp. 1252–1262, DOI: [10.2134/jeq2014.10.0457](https://doi.org/10.2134/jeq2014.10.0457).

23. Bagyaraj D.J., Krishnaraj P.U., Khanuja S.P.S., Mineral phosphate solubilization: agronomic implications, mechanism and molecular genetics, *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 2000, Vol. 66 (2, 3), pp. 69–82.
24. Bordena R.W., Bailliea I.C., Halletta S.H., The East African contribution to the formalisation of the soil catena concept, *Catena*, 2020, Vol. 185, 104291, DOI: [10.1016/j.catena.2019.104291](https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104291).
25. Bostrom B., Andersen J.M., Fleischer S., Jansson M., Exchange of phosphorus across the sediment-water interface, *Hydrobiologia*, 1988, Vol. 170, pp. 229–244.
26. Carlyle G.C., Hill A.R., Groundwater phosphate dynamics in a river riparian zone: Effects of hydrologic flow paths, lithology, and redox chemistry, *Journal of Hydrology*, 2001, Vol. 247, pp. 151–168, DOI: [10.1016/S0022-1694\(01\)00375-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00375-4).
27. Chacon N., Dezzee N., Munoz B., Rodriguez J., Implications of soil organic carbon and the biogeochemistry of iron and aluminum on soil phosphorus distribution in flooded forests of the lower Orinoco River, Venezuela, *Biogeochemistry*, 2005, Vol. 73, pp. 555–566, DOI: [10.1007/s10533-004-1773-7](https://doi.org/10.1007/s10533-004-1773-7).
28. Chen C.R., Condron L.M., Davis M.R., Sherlock R.R., Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand, *Forest Ecology and Management*, 2003, Vol. 177, pp. 539–557, DOI: [10.1016/S0378-1127\(02\)00450-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00450-4).
29. Fink J.R., Inda A.V., Tiecher T., Barrón V., Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability, *Ciência e Agrotecnologia*, 2016, Vol. 40 (4), pp. 369–379, DOI: [10.1590/1413-70542016404023016](https://doi.org/10.1590/1413-70542016404023016).
30. Gérard F., Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils – A myth revisited, *Geoderma*, 2016, Vol. 262, pp. 213–226, DOI: [10.1016/j.geoderma.2015.08.036](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.036).
31. Hinsinger P., Brauman A., Devau N., Gerard F., Jourdan C., Laclau J-P., Cadre E. Jaillard B., Plassard C., Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? *Plant and Soil*, 2011, Vol. 348, pp. 29–61, DOI: [10.1007/s11104-011-0903-y](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0903-y).
32. 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.
33. Jana B.B., Distribution pattern and role of phosphate solubilizing bacteria in the enhancement of fertilizer value of rock phosphate in aquatic ponds: state-of-the-art, In: *First international meeting on microbial phosphate*

solubilization, Springer, 2007, Vol. 102, pp. 229–238, DOI: [10.1007/978-1-4020-5765-6_34](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5765-6_34).

34. Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales, *Ecology*, 2004, Vol. 85, pp. 2380–2389, DOI: [10.1890/03-0245](https://doi.org/10.1890/03-0245).

35. Krögera R., Moore M.T.6 Phosphorus dynamics within agricultural drainage ditches in the lower Mississippi Alluvial Valley, *Ecological Engineering*, 2011, Vol. 37, pp. 1905–1909, DOI: [10.1016/j.ecoleng.2011.06.042](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.042).

36. Lair G.J., Zehetner F., Fiebig M., Gerzabek M.H., van Gestel C.A.M., Hein T., Hohensinner S., Hsu P., Jones K.C., Jordan G., Koelmans A.A., Poot A., Slijkerman D.M.E., Totsche K.U., Bondar-Kunze E., Barth J.A.C., How do long-term development and periodical changes of river–floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers, *Environmental Pollution*, 2009, Vol. 157, pp. 3336–3346, DOI: [10.1016/j.envpol.2009.06.004](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.06.004).

37. Lehmann J., Lan Z., Hyland C., Sato S., Solomon D., Ketterings Q.M., Long-term dynamics of phosphorus forms and retention in manure-amended soils, *Environmental Science and Technology*, 2005, Vol. 39, pp. 6672–6680, DOI: [10.1021/es047997g](https://doi.org/10.1021/es047997g).

38. Lukina N., Tikhonova E., Danilova M., Bakhmet O., Kryshen A., Tebenkova D., Kuznetsova A., Smirnov A., Braslavskaya T., Gornov A., Shashkov M., Knyazeva S., Kataev A., Isaeva L., Zukert N., Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia, *Forest Ecosystems*, 2019, Vol. 6 (34), pp. 1–19, DOI: [10.1186/s40663-019-0190-2](https://doi.org/10.1186/s40663-019-0190-2).

39. Maranguita D., Guillaume T., Kuzyakova Y., Effects of flooding on phosphorus and iron mobilization in highly weathered soils under different land-use types: Short-term effects and mechanisms, *Catena*, 2017, Vol. 158, pp. 161–170, DOI: [10.1016/j.catena.2017.06.023](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.023).

40. Matkala L., Salemaa M., Back J., Soil total phosphorus and nitrogen explain vegetation community composition in a northern forest ecosystem near a phosphate massif, *Biogeosciences*, 2020, Vol. 17, pp. 1535–1556, DOI: [10.5194/bg-17-1535-2020](https://doi.org/10.5194/bg-17-1535-2020).

41. Owens P.N., Walling D.E., The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins, *Water Research*, 2002, Vol. 36 (3), pp. 685–701, DOI: [10.1016/S0043-1354\(01\)00247-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00247-0).

42. Quintero C.E., Gutiérrez-Boem F.H., Befani M.R., Boschetti N.G., Effects of soil flooding on P transforamtion in soils of the Mesopotamia region, Argentina, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, Vol. 170, pp. 500–505, DOI: [10.1002/JPLN.200625015](https://doi.org/10.1002/JPLN.200625015).

43. Rakotoson T., Rabeharisoa T., Smolders E., Effects of soil flooding and organic matter addition on plant accessible phosphorus in a tropical paddy soil: an isotope dilution study, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2016, Vol. 179 (6), p. 765–774, DOI: [10.1002/jpln.201500383](https://doi.org/10.1002/jpln.201500383).
44. Richardson A.E., George T.S., Maarten H., Simpson R.J., Utilization of soil organic phosphorus by higher plants, In: *Organic phosphorus in the environment*, CABI Publishing, Cambridge, 2005, pp. 165–184, DOI: [10.1079/9780851998220.0165](https://doi.org/10.1079/9780851998220.0165).
45. Rinnan R., Michelsen A., Jonasson S., Effects of litter addition and warming on soil carbon, nutrient pools and microbial communities in a subarctic heath ecosystem, *Applied Soil Ecology*, 2008, Vol. 39, pp. 271–281, DOI: [10.1016/j.apsoil.2007.12.014](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.12.014).
46. Rogova O.B., Kolobova N.A., Ivanov A.L., Phosphorus sorption capacity of gray forest soil as dependent on fertilization system, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 5, pp. 536–541, DOI: [10.1134/S1064229318050101](https://doi.org/10.1134/S1064229318050101).
47. Salazar O., Fuentes I., Seguel O., Nájera F., Casanova M., Assessment of nitrogen and phosphorus pathways at the profile of over-fertilised alluvial soils. Implications for best management practices, *Water, Air & Soil Pollution*, 2018, Vol. 229, No. 223, DOI: [10.1007/s11270-018-3854-6](https://doi.org/10.1007/s11270-018-3854-6).
48. Søndergaard M., Jensen J.P., Jeppesen E., Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes, *Hydrobiologia*, 1999, Vol. 408/409, pp. 145–152.
49. Sorokina O.A., Gysev M.N., Weathering reflected by the chemical composition of alluvial soils from the Zeya and Selemdzha river valleys, *Science China Earth Sciences*, 2018, Vol. 61 (5), pp. 604–613, DOI: [10.1007/s11430-017-9162-5](https://doi.org/10.1007/s11430-017-9162-5).
50. Spink A., Sparks R.E., van Oorschot M., Verhoeven J.T.A., Nutrient dynamics of large river floodplains, *Regulated Rivers Research & Management*, 1998, Vol. 14, pp. 203–16.
51. Tiessen H., Stewart J.W.B., Cole C.V., Pathways of phosphorous transformations in soils of differing pedogenesis, *Soil Science Society of America Journal*, 1984, Vol. 48, pp. 853–858.
52. Walker T.W., Syers J.K., The fate of phosphorus during pedogenesis, *Geoderma*, 1976, Vol. 15, pp. 1–19.
53. Wardle D.A., Walker L.R., Bardgett R.D., Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences, *Science*, 2004, Vol. 305, pp. 509–513, DOI: [10.1126/science.1098778](https://doi.org/10.1126/science.1098778).

УДК 631.445.2:631.416.2

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-92-115



Ссылки для цитирования:

Васбиева М.Т., Завьялова Н.Е. Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы естественных и агрофитоценозов // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 92-115. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-92-115

Cite this article as:

Vasbieva M.T., Zavyalova N.E., Phosphate regime of sod-podzolic soil in natural and agrophytocenoses, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 92-115, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-92-115

Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы естественных и агрофитоценозов

© 2021 г. М. Т. Васбиева*, Н. Е. Завьялова

*Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Россия,
12 Kultury St., 614532 Lobanovo village, Perm region,
Perm district, Russian Federation,*

*<https://orcid.org/0000-0003-4048-6319>, e-mail: vasbievamt15@gmail.com,

**<https://orcid.org/0000-0003-4005-8998>, e-mail: nezavyalova@gmail.com.

*Поступила в редакцию 09.04.2021, после доработки 21.05.2021,
принята к публикации 16.06.2021*

Резюме: Изучен фосфатный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Предуралья под естественными фитоценозами (смешанный лес, злаково-разнотравный луг) и агрофитоценозами. Оценка влияния сельскохозяйственного использования пашни на фосфатный режим проведена в условиях длительного стационарного опыта (год закладки – 1978) и в посевах козлятника восточного (год посева – 1988). Изучено общее содержание фосфора в почве, количество его органических, минеральных и подвижных соединений, рассмотрен фракционный состав минеральных фосфатов (метод Гинзбург-Лебедевой). Общее содержание фосфора в верхнем слое почвы всех объектов исследования варьировало от 1 030 до 1 350 мг/кг. В почве преобладали минеральные соединения фосфора над органическими. Установлено, что фракционный состав минеральных фосфатов на 40–62% был представлен фосфатами железа и на 31–48% – фосфатами кальция, что связано с характерными особенностями почвообразующей

породы – желто-бурой некарбонатной покровной глины. Фосфаты алюминия составили 8–12%. Длительное возделывание сельскохозяйственных культур в течение пяти ротаций полевого восьмипольного севооборота привело к существенному снижению в почве содержания органических соединений фосфора. В почве длительного опыта, по сравнению с естественными фитоценозами, отмечено более низкое содержание фосфатов железа (в 1.6–1.8 раза) и более высокое содержание (в 1.3–2.0 раза) наиболее доступных для растений рыхлосвязанных и разноосновных фосфатов кальция. Отмечено постепенное снижение содержания подвижных соединений фосфора в почве контрольного варианта от момента закладки опыта к пятой ротации с 239 до 164 мг/кг. Длительное внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ привело к существенному увеличению в почве минеральных соединений и подвижных форм фосфора. Остаточный фосфор удобрения закрепился в виде фосфатов железа и наиболее доступных для растений рыхлосвязанных и разноосновных фосфатов кальция. Под козлятником восточным количественные и качественные показатели фосфатного режима почвы существенного не отличались от природных аналогов.

Ключевые слова: минеральные, органические, подвижные соединения фосфора, фракционный состав минеральных фосфатов, степень подвижности фосфатов, длительный стационарный опыт, минеральные удобрения.

Phosphate regime of sod-podzolic soil in natural and agrophytocenoses

© 2021 M. T. Vasbieva*, N. E. Zavyalova**

*Perm Research Institute of Agriculture of the Perm Federal Research Center
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,*

7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,

* <https://orcid.org/0000-0003-4048-6319>, e-mail: vasbievamt15@gmail.com,

** <https://orcid.org/0000-0003-4005-8998>, e-mail: nezavyalova@gmail.com.

Received 09.04.2021, Revised 21.05.2021, Accepted 16.06.2021

Abstract: The phosphate regime of sod-podzolic soil (heavy loam) of Cis-Urals under natural phytocenoses (mixed forest, cereal-grass meadow) and agrophytocenoses was studied. The influence of agricultural use of arable land on phosphate regime was evaluated in the long-term stationary experiment (year of establishment – 1978) and the eastern galega (*Galega orientalis* L.) (year of sowing – 1988). The total content of phosphorus in soil, quantity of its organic, mineral and plant available forms were studied, the fractional

composition of mineral phosphates was considered (using Ginzburg-Lebedeva method). The total content of phosphorus in the upper soil layer in all studied objects varied from 1 030 to 1 350 mg/kg. Mineral phosphorus forms prevailed over organic ones in the soil. It was found that the fractional composition of mineral phosphates was 40–62% represented by iron phosphates and 31–48% by calcium phosphates, which is due to the characteristic features of the soil-forming rock – yellow-brown non-carbonate silt drupe. Aluminum phosphates amounted to 8–12%. Long-term cultivation of crops during five cycles of the eight-field crop rotation led to a significant decrease in the content of organic phosphorus in the soil. The lower content of iron phosphates (1.6–1.8 times) and the higher content (1.3–2.0 times) of calcium phosphates, available for plants, were observed in the soil of long-term experiment when compared with natural phytocenoses. The content of plant available phosphorus in soil of the control variant gradually decreased from 239 to 164 mg/kg from the moment of experiment establishment to the fifth rotation. Prolonged fertilizer application ($N_{60}P_{60}K_{60}$) resulted in the significant increase in mineral and plant available phosphorus forms content in the soil. The residual phosphorus of fertilizers was noted in the Fe-P, Ca-PI and Ca-PII fractions. Under the eastern galega the quantitative and qualitative indicators of the phosphate regime of the soil did not differ significantly from their natural analogues.

Keywords: mineral, organic, plant available phosphorus, fractional composition of mineral phosphates, degree of phosphate mobility, long-term stationary experience, mineral fertilizers.

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор в почве является одним из основных элементов питания растений. В формировании фосфатного режима почв важную роль играют запасы общего фосфора, содержание его минеральных и органических форм. Главным источником соединений фосфора для почв служат почвообразующие породы. Для каждого типа почв существует определенное равновесие в накоплении органических и минеральных соединений фосфора, обусловленное генетическими особенностями почв, общим направлением почвообразовательного процесса и степенью их окультуренности. Минеральные соединения фосфора в почве в большинстве случаев преобладают над органическими. Минеральные формы почвенного фосфора представлены в основном фосфатами кальция и магния разной основности и подвижности и фосфатами оксидов же-

леза и алюминия ([Адрианов, 2004](#); [Сычев и др., 2009](#); [Титова и др., 2005](#)). Сельскохозяйственное использование может в значительной степени изменить фосфатный режим почвы. В почве нарушается сложившийся круговорот фосфора, формируется отрицательный баланс ([Иванов и др., 2012](#); [Волынкина, 2020](#); [Кайгородов и др., 2017](#); [Сычев и др., 2020](#)), наблюдается снижение доступных форм фосфора для растений ([Косолапова и др., 2018](#); [Красницких и др., 2020](#); [Цветнов и др., 2020](#)). Применение удобрений, особенно в высоких дозах, может способствовать формированию окультуренных почв с характерным для них фосфатным режимом отличным от природных аналогов ([Балгабаев и др., 2020](#); [Митрофанова, 2017](#); [Frense et al., 2020](#); [Li et al., 2020](#)). Могут влиять на изменение фосфатного режима почвы и приемы ее основной обработки ([Гребенников и др., 2018](#)). Обеспеченность почв фосфором является одним из важнейших показателей окультуренности почв, условием высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к неблагоприятным факторам.

Цель исследований – охарактеризовать фосфатное состояние дерново-подзолистой почвы под различными естественными и агрофитоценозами, оценить степень влияния сельскохозяйственного использования земель на фосфатный режим почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

По данным Росстата, в структуре земельного фонда Пермского края значительную площадь занимают земли лесного фонда – 10 млн га или 63.9% территории. Площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 4.3 млн га или 26.5%. В крае преобладают дерново-подзолистые почвы (69.5%) в основном глинистого, тяжело- и среднесуглинистого гранулометрического состава ([Кайгородов и др., 2017](#)). Почвенный покров характеризуется мелкоконтурностью и частой пространственной сменой почв, обусловленных влиянием рельефа, почвообразующих пород, уровнем грунтовых вод, характером растительного покрова. Дерново-подзолистые почвы характеризуются низким естественным плодородием, что связано с невысоким содержанием органического вещества, азота, фосфора, а также с кислой реакцией среды.

В Пермском крае, по данным государственного центра агро-

химической службы “Пермский”, в 2019 г. площадь пахотных угодий с содержанием подвижного фосфора менее 100 мг/кг составила 67% (очень низкое и низкое содержание (<50 мг/кг) – 34%; среднее (50–100 мг/кг) – 33%). Средневзвешенная обеспеченность фосфором более 100 мг/кг отмечена только в 9 из 33 районов края. За последние десять лет в Пермском крае насыщенность пашни органическими удобрениями составила 1.1 т/га, минеральными – 12.1 кг/га действующего вещества. По сравнению с 1980–1990 гг. применение минеральных удобрений снизилось в 8–9 раз, органических – в 3–4 раза. Возмещение выноса элементов питания за последние годы с учетом вносимых объемов удобрений, применения сидератов и соломы составляет 10–15%. В 1995 г. баланс элементов питания составил: –26.9 кг/га, в 2000–2003 гг. – –43.2 кг/га, а в 2019 г. – –142.4 кг/га.

Исследования проводили в IV агроклиматическом районе Пермского края. В физико-географическом отношении район находится в подзоне южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. Климат умеренно-континентальный с холодной, продолжительной, снежной зимой и теплым коротким летом. Сумма средних суточных температур выше 10 °С составляет 1 700–1 900 °С. Длительность периода активной вегетации с температурой выше 10 °С в среднем составляет 115 дней, с температурой выше 15 °С – 60 дней. Район относится к зоне достаточного увлажнения: ГТК 1.4. Осадков за год выпадает 470–500 мм. Число дней со снежным покровом в среднем составляет 176 ([Агроклиматические ресурсы..., 1979](#)).

Исследования проводили на опытном поле Пермского НИИСХ, филиала ПФИЦ УрО РАН, в полевом восьмипольном севообороте длительного стационарного опыта (без применения удобрений, с внесением N₆₀P₆₀K₆₀), на стационарных участках под многолетней бобовой культурой – козлятником восточным (*Galega orientalis* L.), под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом (рис. 1). Гранулометрический состав верхнего горизонта всех почв (по Н.А. Качинскому) тяжелосуглинистый ([Zav'yalova, 2016](#)).

Лес – смешанный, с богатым травяным покровом. В древесное широко представлены береза, осина, реже клен, из хвойных –

ель, пихта, сосна. Хорошо развит второй ярус и подлесок из рябины, липы, ольхи, черемухи и др. В напочвенном покрове преобладают кисличные, кислично-папоротниковые и разнотравно-злаково-папоротниковые ассоциации. Почва не испытывает механических нагрузок. В лесном фитоценозе на поверхности почвы накапливается неразложившийся за год слой опада в виде листьев, хвои, ветвей, т. е. мощная лесная подстилка, имеющая кислую реакцию ($\text{pH} = 4.5$) из-за опада хвойных пород. Под пологом смешанного леса ее толщина составляет около 3 см.



Рис. 1. Размещение объектов исследования: 1 – длительный опыт, вариант без удобрений, 2 – длительный опыт, с внесением $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, 3 – козлятник восточный, 4 – луг разнотравно-злаковый, 5 – смешанный лес.
Fig. 1. Arrangement of studied objects: 1 – long-term experiment, variant without fertilizers, 2 – long-term experiment, with $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ application, 3 – eastern galega, 4 – cereal-grass meadow, 5 – mixed forest.

Видовой состав травостоя естественного злаково-разнотравного луга: 62% – злаковые, 13.5% – бобовые, 24.5% – разнотравье. Травостой не отчуждается. Избыточное накопление

отмершей надземной массы приводит к обеднению видового разнообразия.

Козлятник восточный был посеян в 1988 г. и используется для получения семян. После уборки солома отчуждается. Минеральные удобрения применяли только в первые годы жизни культуры.

Полевой стационарный опыт был заложен в 1978 г. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта (слой 0–20 см): $pH_{KCl} = 5.6$; гидролитическая кислотность – 2.0, сумма поглощенных оснований – 21.0 мг-экв/100 г почвы, содержание органического углерода – 1.23%, подвижный фосфор – 175 мг/кг, обменный калий – 203 мг/кг (по Кирсанову). Севооборот парозернопропашной восьмипольный с чередованием культур: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница, клевер 1-го г. п., клевер 2-го г. п., ячмень, овес. Общая площадь делянки 120 м², учетная – 76.4 м². Перед закладкой опыта было проведено известкование, полная доза извести была рассчитана по гидролитической кислотности. Органические удобрения не вносили. НРК в дозе 60 кг д. в. вносили под зерновые культуры, картофель. Под клевер удобрения не вносили, изучали последствие удобрений, внесенных под предшествующие культуры. Исследования проводили в верхнем горизонте почвы 0–20 см (3–20 см – под лесом). Агрохимическая характеристика почвы представлена в таблице 1.

Общее содержание фосфора в почве, содержание его минеральных и органических соединений определяли методом прокаливания Сэндерса и Вильямса, подвижные формы фосфора – по Кирсанову, степень подвижности фосфатов – по Н.П. Карпинскому и В.Б. Замятиной, кривые растворимости фосфатов – по Бобко-Масловой. Фракционный состав минеральных фосфатов определяли методом Гинзбург–Лебедевой. Лабораторные исследования проводили в воздушно-сухих образцах почвы. Почвенные образцы в длительном опыте отбирали с двух несмежных повторений в пяти точках на каждой делянке, на других объектах исследования – на специально выделенных стационарных участках методом конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Смешанный почвенный образец составляли квартованием из индивидуальных проб. Статистическую обработку результатов полевых и лабораторных

исследований проводили методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Таблица 1. Агрохимические свойства почвы, 2012–2013 гг.
Table 1. Agrochemical properties of soil, 2012–2013

Объект исследования	Глубина, см	pH _{KCl}	S	Hг	Ca	Mg	N _{общ} , мг/кг	C _{орг} , %
			мг-экв/100 г					
Смешанный лес	3–20	4.2	20,0	6.4	12.0	3.2	2 660	1.58
Злаково-разнотравный луг	0–20	4.8	21.2	2.2	13.9	2.5	1 490	1.25
Козлятник восточный	0–20	4.9	18.3	2.8	12.9	3.8	1 940	1.44
Полевой севооборот, без удобрений	0–20	5.2	21.4	2.4	12.0	1.8	1 120	1.06
Полевой севооборот, N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-20	5.1	22.6	2.7	13.6	2.8	1 582	1.18
HCP ₀₅	-	0.2	1.3	0.2	0.4	0.14	120	0.07

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что в дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почве под различными фитоценозами в верхнем горизонте общее содержание фосфора варьировало от 1 030 (\pm 68) до 1 350 (\pm 36) мг/кг (рис. 2). В почве под злаково-разнотравным лугом общее содержание фосфора было в 1.3 раза выше, чем под смешанным лесом.

В почве преобладали минеральные соединения фосфора. В почве под смешанным лесом, злаково-разнотравным лугом доля минеральных соединений фосфора составила 54–55%, органических – 45–46%. Антропогенное воздействие на почву нарушает сложившееся равновесие между органическими и минеральными формами соединений фосфора.

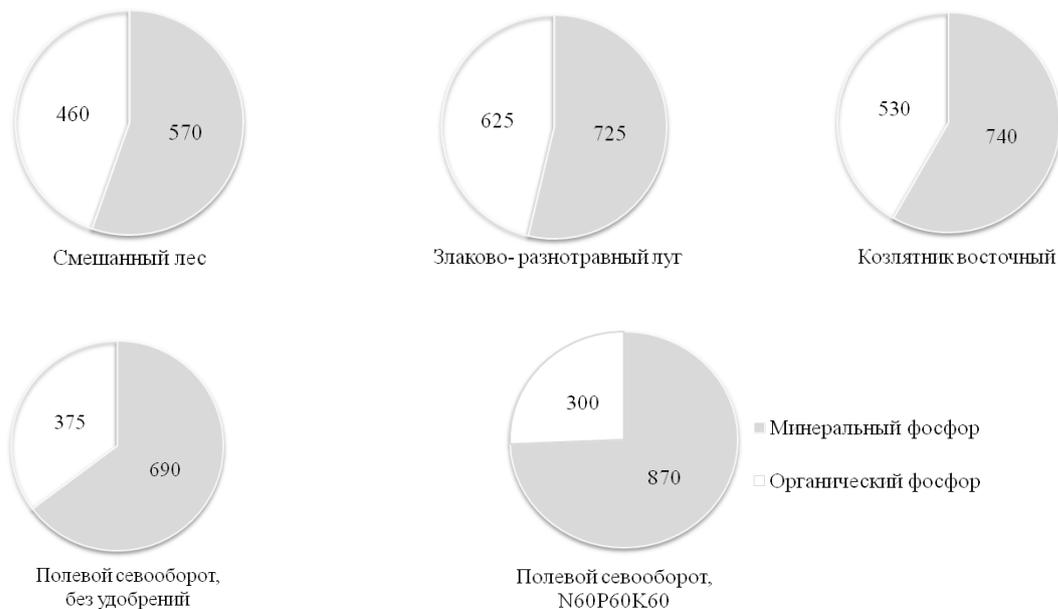


Рис. 2. Содержание минеральных и органических соединений фосфора в дерново-подзолистой почве естественных и агрофитоценозов, мг/кг.

Fig. 2. The content of mineral and organic phosphorus forms in sod-podzolic soil of natural and agrophytocenoses, mg/kg.

Длительное возделывание сельскохозяйственных культур в течение пяти ротаций полевого восьмипольного севооборота привело к снижению в почве содержания органических соединений фосфора. Их количество было в 1.7 раза ниже, чем в почве под лугом, и в 1.2 раза ниже, чем под лесом. Аналогичные результаты получены в работе J. Joneczak (2015). Доля органических соединений фосфора в данном варианте снизилась до 35%, минеральных – возросла до 65%. Полученные результаты в первую очередь связаны с уменьшением в почве содержания органического вещества. За пять ротаций отмечено снижение $C_{\text{орг}}$ с 1.23% (исходное содержание) до 1.00%. Минимальное содержание фосфора органических соединений и наибольшее содержание минеральных соединений наблюдали при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$. Доля органических соединений фосфора составила 26%, минеральных – 74%. По сравнению с вариантом без удобрений длительное внесение минеральных удобрений существенно повысило в почве запасы минеральных соединений фосфора – на 0.4 т/га, наблюдаются тенденции снижения запасов фосфора органических соединений (рис. 3).

В работе И.В. Гулякина и др. (1973) отмечено, что систематическое применение удобрений способствует значительному увеличению содержания в почве минеральных соединений фосфора. Согласно расчетам Гриффита (Титова, 2005), около 78% фосфора удобрений остается в почвах в форме минеральных соединений.

Под козлятником восточным соотношение органических и минеральных соединений фосфора оказалось близким к таковому в почве под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом. Посевы козлятника восточного с годами загущаются, количество корневых и пожнивных остатков увеличивается, следовательно, в почве повышается содержание органического вещества, что может положительно повлиять и на содержание органических соединений фосфора. Козлятник восточный – многолетнее травянистое растение озимого типа развития.

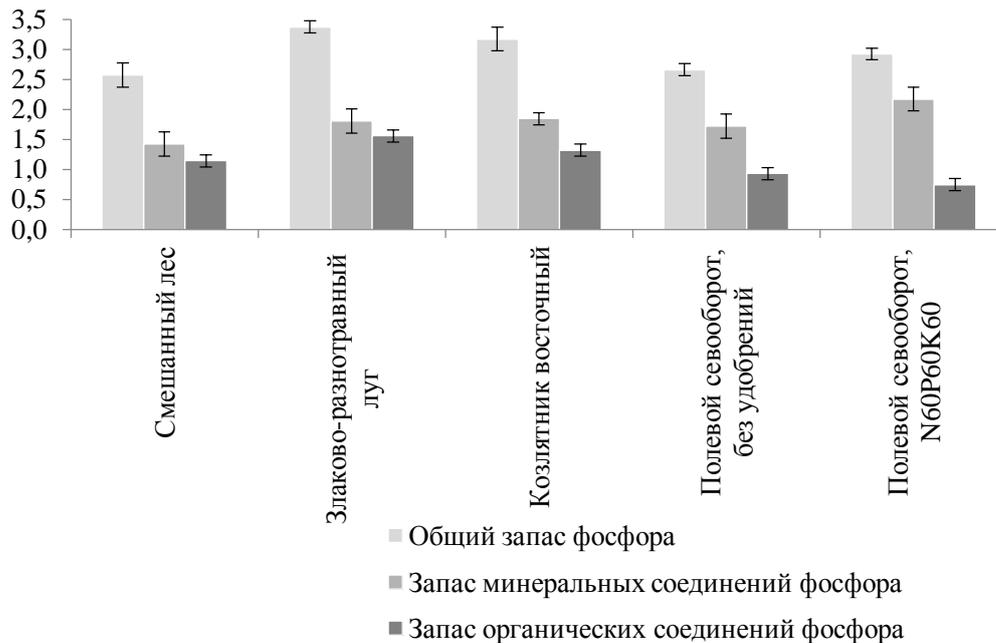


Рис. 3. Общий запас фосфора в дерново-подзолистой почве различных фитоценозов, запасы минеральных и органических соединений фосфора, т/га.

Fig. 3. Total phosphorus reserves in sod-podzolic soil of different phytocenoses, reserves of mineral and organic phosphorus forms, t/ha.

Многолетние травы считаются эффективными фитомелиорантами для воспроизводства плодородия почв: они стабилизируют гумусовое состояние, способствуют улучшению агрофизических свойств почвы, уменьшают интенсивность процесса эрозии. Со второго года жизни у культуры формируется мощная корневая система, проникающая в почву до 80–120 см. По нашим данным, козлятник ежегодно накапливает в пахотном слое почвы до 9 т корневых остатков на гектар, содержащих около 200 кг азота и 40 кг фосфора ([Zav'yalova, 2016](#)). По литературным данным, растения второго – третьего года жизни в пахотном слое почвы накапливают более 10 т/га корневой массы ([Степанов и др., 2017](#)).

Для органических соединений фосфора установлена достоверная средняя прямая корреляционная связь с содержанием органического углерода ($r = 0.5$); для минеральных соединений фосфора высокая – с показателем pH_{KCl} , содержанием обменного кальция в почве ($r = 0.7–0.8$), средняя – с суммой обменных оснований ($r = 0.5$), обратная средняя корреляционная зависимость – с содержанием органического углерода ($r = -0.6$).

Выделение из почвы отдельных минеральных форм фосфора, различающихся по химическому составу, растворимости и доступности растениям, позволяет получить представление о соотношении лабильных и труднодоступных форм фосфора в почве и предвидеть их превращения ([Гинзбург, 1981](#)). Фракционный состав минеральных фосфатов определяли методом Гинзбург–Лебедевой, который позволяет выделить пять фракций: фосфаты железа (Fe–P), фосфаты алюминия (Al–P), и три фракции фосфатов кальция (Ca–P_I, Ca–P_{II}, Ca–P_{III}), различающихся по основности, степени окристаллизованности и, следовательно, по растворимости и доступности растениям: Ca–P_I – фосфаты щелочных и щелочноземельных металлов, аммония, Ca–P_{II} – разноосновные фосфаты кальция (магния), Ca–P_{III} – труднорастворимые высокоосновные фосфаты кальция типа апатита.

Исследования фракционного состава минеральных соединений фосфора дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы показали, что наибольшую долю в их составе занимали фосфаты железа (типа стренгита, диффренита и др.) – 40–62% (рис. 4). Следующей шла фракция фосфатов кальция (Ca–P) – 31–48%.

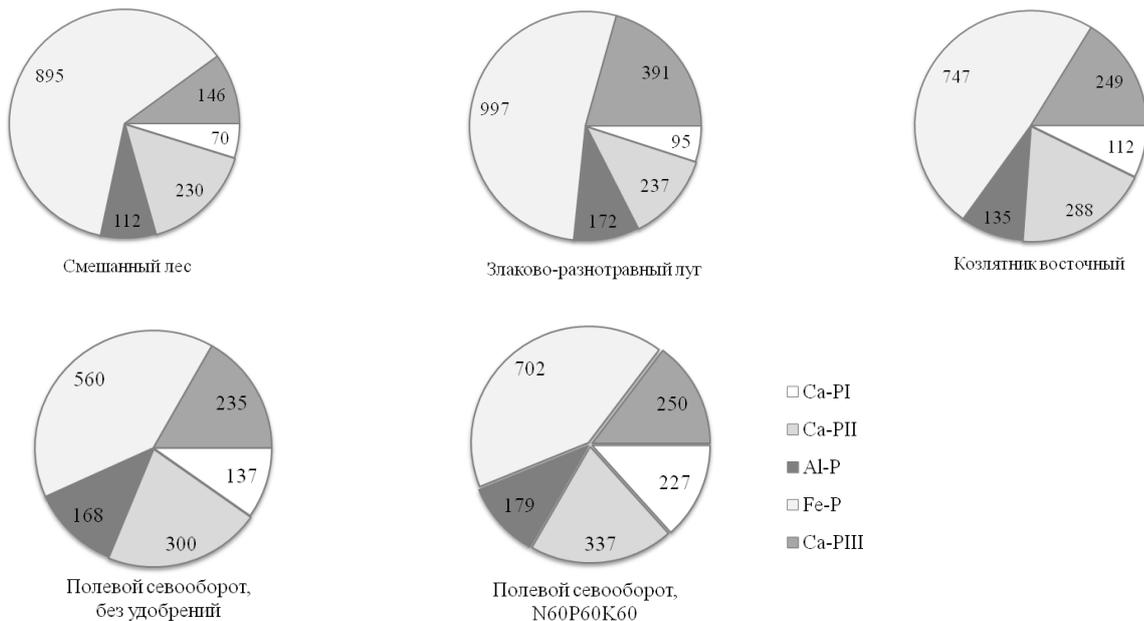


Рис. 4. Фракционно-групповой состав минеральных соединений фосфора дерново-подзолистой почвы под естественными фитоценозами и агрофитоценозами.

Fig. 4. Fractional composition of mineral phosphorus forms in sod-podzolic soil under natural phytocenoses and agrophytocenoses.

Высокое содержание фосфатов железа объясняется повышенным содержанием железа в данных почвах ([Адрианов, 2004](#); [Титова и др., 2005](#)). Почвообразующей породой исследуемой почвы является желто-бурая некарбонатная покровная глина. Характерной особенностью почвы, сформированной на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, является высокое содержание обменных форм кальция и магния (которое, как и сумма поглощенных оснований, увеличивается с глубиной), что объясняет высокое содержание Са–Р.

Фосфаты алюминия (типа варисцита, ваввелита и др.) составили 8–12% от общего содержания минеральных фосфатов. Характер распределения фракций фосфатов в почве под различными фитоценозами имел свои особенности. В почве под естественными фитоценозами, по сравнению с агрофитоценозами, отмечено более высокое содержание Fe–Р и более низкое содержание наиболее доступных для растений фракций – рыхлосвязанных и разноосновных фосфатов кальция. Минимальное количество фосфатов железа наблюдали при длительном использовании пашни (полевой севооборот, без удобрений), содержание фосфатов железа было в 1.6–1.8 раза меньше, чем под лесом и лугом. При сравнении с естественными фитоценозами длительное возделывание сельскохозяйственных культур в полевом севообороте привело к увеличению в почве рыхлосвязанных (Са–Р_I) в 1.4–2.0 раза и разноосновных фосфатов кальция (Са–Р_{II}) в 1.3 раза.

Остаточный фосфор удобрения (расчеты проведены разностным методом по сравнению с контрольным вариантом) закрепился в виде фосфатов железа (48%), подвижных рыхлосвязанных (31%) и разноосновных фосфатов кальция (13%). Под злаково-разнотравным лугом наблюдали самое высокое содержание труднорастворимых высокоосновных фосфатов кальция типа апатита Са–Р_{III}.

Об особенностях фосфатного режима почв можно судить по соотношению суммы фосфатов кальция Са–Р_I + Са–Р_{II} и суммы фосфатов полуторных оксидов (Al–Р + Fe–Р). Чем выше эта величина, тем доступнее фосфор растениям ([Ubugunov et al., 2015](#)). По нашим данным, величина этого соотношения в почве под смешан-

ным лесом и злаково-разнотравным лугом составила 0.28–0.30, под козлятником восточным – 0.45.

Максимальные значения соотношения (0.60–0.64) получены в пахотной почве полевого севооборота как в вариантах без применения удобрений, так и с внесением $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Установлена достоверная средняя и высокая прямая корреляционная связь фосфатов кальция и алюминия с кислотностью почвы ($r = 0.5–0.8$), с суммой обменных оснований ($r = 0.4–0.8$), обратная средняя и высокая корреляционная зависимость с содержанием органического углерода ($r = -0.6–0.9$). Между фосфатами железа и содержанием органического углерода наблюдали прямую среднюю корреляционную связь ($r = 0.6$) и обратную высокую – с кислотностью почвы ($r = -0.75$).

Содержание подвижных соединений фосфора в почве под смешанным лесом составило 168 мг/кг, их запасы в верхнем горизонте почвы – 0.4 т/га (рис. 5). В почве злаково-разнотравного луга количество подвижных соединений фосфора и их запасы были почти в два раза выше. Полученные результаты в первую очередь связаны с различным химическим составом и количеством надземной массы и корневых остатков, поступающих ежегодно в почву.

Под козлятником восточным и в контрольном варианте длительного стационарного опыта содержание подвижных соединений фосфора находилось на одном уровне (160–188 мг/кг), т. е. обеспеченность почвы подвижными соединениями фосфора для культур сплошного сева – высокая (150–250 мг/кг). Запасы составили 0.4–0.5 т/га.

Наблюдение за динамикой содержания подвижных соединений фосфора в длительном стационарном опыте по ротациям (рис. 6) показало, что продолжительное возделывание сельскохозяйственных культур в полевом восьмипольном севообороте (контрольный вариант) привело к постепенному снижению содержания подвижных форм фосфора в почве от момента закладки опыта к пятой ротации с 239 до 164 мг/кг.

Внесение удобрений в первую очередь увеличивает содержание подвижных форм фосфора в почве, а также увеличивает их подвижность ([Минеев и др., 2005](#)).

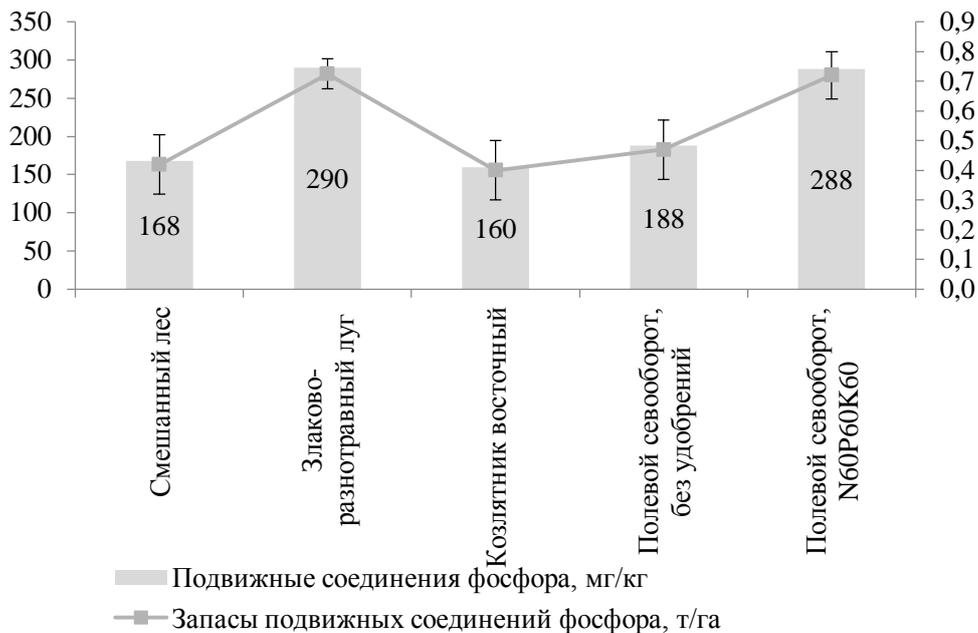


Рис. 5. Содержание подвижных соединений фосфора и их запасы в дерново-подзолистой почве под естественными фитоценозами и агрофитоценозами.

Fig. 5. Content of plant available phosphorus forms and their reserves in sod-podzolic soil under natural phytocenoses and agrophytocenoses.

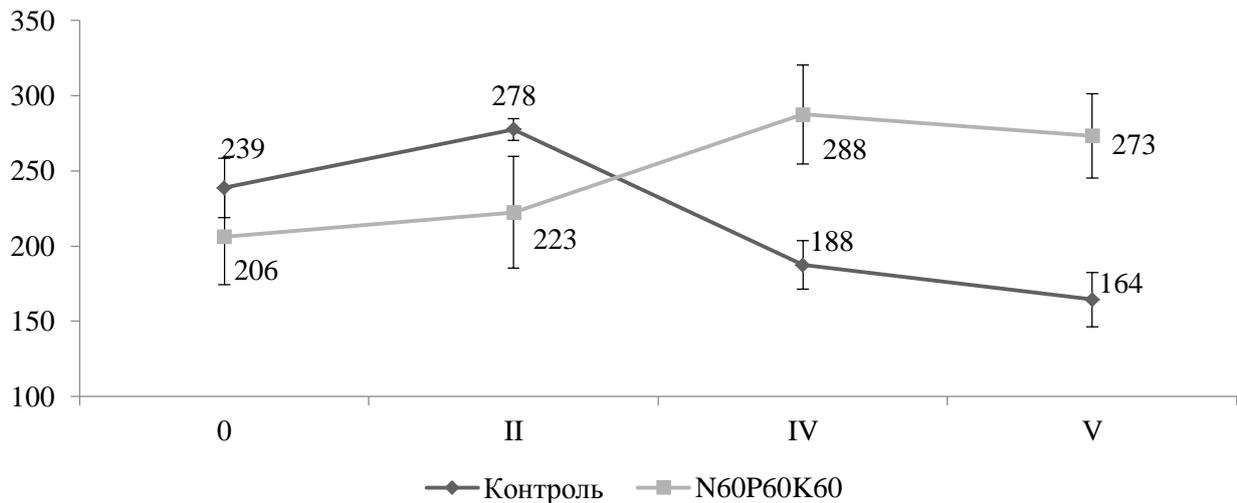


Рис. 6. Динамика содержания подвижных соединений фосфора в длительном стационарном опыте по ротациям (1978–2017 гг.).

Fig. 6. Dynamics of plant available phosphorus content in the long-term stationary experiment by rotations (1978–2017).

В первых ротациях севооборота содержание подвижных соединений фосфора в почве при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ находилось на уровне контрольного варианта, к IV–V ротациям наблюдали увеличение содержания подвижных соединений фосфора в 1.5–1.7 раза, запасы в пахотном горизонте почвы увеличились до 0.7 т/га. Можно отметить, что относительное возрастание содержания подвижных форм элемента, по сравнению с увеличением общего содержания, гораздо более существенно.

Установлена достоверная высокая прямая корреляционная связь подвижных соединений фосфора с суммой обменных оснований и с содержанием обменного кальция в почве ($r = 0.8$) и слабая – с показателем pH_{KCl} ($= 0.3$).

Наиболее существенные процессы трансформации и поглощения фосфатов происходят с участием почвенного раствора, в который переходят наиболее подвижные, растворимые формы фосфатов. В почвенном растворе присутствует лишь малая часть фосфора, содержащегося в почве. Степень подвижности фосфатов (концентрация фосфат-ионов, находящихся в почвенном растворе) дерново-подзолистой почвы естественных фитоценозов и под козлятником восточным составила 1.6–1.7 мг/л. В почве контрольного варианта длительного опыта степень подвижности фосфатов была почти в 3 раза ниже (0.6 мг/л), что, возможно, связано с интенсивным потреблением фосфат-ионов из почвенного раствора сельскохозяйственными культурами. Применение минеральных удобрений обеспечило увеличение степени подвижности фосфатов до 1.4 мг/л. Корреляционной связи между содержанием подвижных соединений фосфора (по Кирсанову) и степенью подвижности фосфатов не выявлено. Отмечена прямая высокая корреляционная зависимость между степенью подвижности фосфатов и содержанием органического вещества в почве ($r = 0.75$).

Для более полной характеристики подвижных соединений фосфора в почве провели извлечение фосфора при разных величинах pH вытяжки по методике Е.В. Бобко, А.Л. Масловой (табл. 2).

Результаты исследований показали существенное увеличение содержания фосфора в растворах с повышением количества HCl , что свидетельствует о потенциальной растворимости природных фосфатов и, соответственно, о доступности их для пита-

ния растений. Максимально высокая растворимость фосфатов отмечена в контрольном варианте длительного опыта, что согласуется с результатами фракционного состава фосфатов по Гинзбург-Лебедевой.

Таблица 2. Растворимость фосфатов дерново-подзолистой почвы различных фитоценозов, мг $P_2O_5/100$ г почвы

Table 2. Phosphates solubility in sod-podzolic soil of different phytocenoses, mg $P_2O_5/100$ g of soil

Объект исследования	Количество растворителя, мл 0.1 н НСІ					
	0	2	4	6	9	12
Смешанный лес	2.6	2.8	2.4	2.4	5.6	5.6
Злаково-разнотравный луг	2.8	2.8	2.8	6.0	10.0	10.0
Козлятник восточный	2.0	2.0	2.4	5.2	4.8	5.3
Полевой севооборот, без удобрений	7.5	6.5	7.0	8.0	9.0	10.0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья общее содержание фосфора в верхнем слое варьировало от 1 030 до 1 350 мг/кг. Доля минеральных соединений фосфора в почве под естественными фитоценозами (смешанный лес, злаково-разнотравный луг) была немного выше, чем органических. В составе минеральных фосфатов преобладали фосфаты железа. В почве злаково-разнотравного луга количество подвижных соединений фосфора и их запасы были почти в два раза выше, чем под лесом. Степень подвижности фосфатов дерново-подзолистой почвы естественных фитоценозов была примерно на одном уровне (1.6–1.7 мг/л).

Длительное возделывание сельскохозяйственных культур в течение пяти ротаций полевого восьмипольного севооборота (кон-

трольный вариант длительного опыта) привело к снижению в почве содержания органических соединений фосфора, их количество было в 1.7 раза ниже, чем в почве под лугом, и в 1.2 раза ниже, чем под лесом. На долю органических соединений фосфора в почве пришлось 35%, минеральных – 65%. Полученные результаты связаны с уменьшением в почве содержания органического вещества. В почве длительного стационарного опыта, по сравнению с естественными фитоценозами, отмечено более низкое содержание фосфатов железа и более высокое содержание наиболее доступных для растений рыхлосвязанных и разноосновных фосфатов кальция, что связано с трансформацией соединений фосфора в почве в результате сельскохозяйственного производства. Отмечено постепенное снижение содержания подвижных соединений фосфора в почве от момента закладки опыта к пятой ротации. Степень подвижности фосфатов была почти в 3 раза ниже, чем под лесом и лугом. Длительное внесение $N_{60}P_{60}K_{60}$ привело к существенному увеличению в почве минеральных и подвижных соединений фосфора. Остаточный фосфор удобрения закрепился в виде фосфатов железа и наиболее доступных для растений рыхлосвязанных и разноосновных фосфатов кальция. Под козлятником восточным значения содержания органических, минеральных и подвижных соединений фосфора, а также их соотношение оказались близкими к таковым в почвах под смешанным лесом и злаково-разнотравным лугом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Пермской области / Под общей ред. Е.В. Григорчук. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 156 с.
2. Андрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.
3. Балгабаев А.М., Елешев Р.Е., Умбетов А.К., Иванов А.Л., Рогова О.Б., Колобова Н.А. Запасы и групповой состав фосфатов почв предгорной зоны Илийского Алатау и их изменение при длительном использовании // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 124–158. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-124-158](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-124-158).
4. Волюнкина О.В. Баланс питательных веществ на посевах сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2020. № 4. С. 13–16. DOI:

[10.25680/S19948603.2020.115.04](https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.115.04).

5. *Гинзбург К.Е.* Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
6. *Гребенников А.М., Исаев В.А., Юдин С.А., Сапрыкин С.В., Чевердин Ю.И.* Влияние способов обработки почвы на запасы элементов питания в сегрегационных черноземах // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 6. С. 13–18. DOI: [10.30850/vrsn/2018/6/13-18](https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/13-18).
7. *Гулякин И.В., Чуприков Ю.К.* Влияние удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 1973. № 8. С. 15–23.
8. *Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М.* Агробиогеохимический цикл фосфора. М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. 512 с.
9. *Кайгородов А.Т., Пискунова Н.И.* Современное состояние почвенного плодородия пахотных земель Пермского края // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 22–26.
10. *Косолапова А.И., Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М., Васбиева М.Т., Ямалтдинова В.Р., Фомин Д.С., Тетерлев И.С.* Эффективность длительного применения удобрений на дерново-подзолистых почвах Предуралья // Агрохимия. 2018. № 2. С. 42–55. DOI: [10.7868/S0002188118020047](https://doi.org/10.7868/S0002188118020047).
11. *Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А., Бобренко И.А.* Динамика подвижного фосфора в почвах лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2020. № 2. С. 57–60. DOI: [10.25680/S19948603.2020.113.17](https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.17).
12. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Действие и последствие удобрений на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // Агрохимия. 2005. № 1. С. 5–13.
13. *Митрофанова Е.М.* Влияние длительного применения минеральных удобрений и последствие извести на фосфатный режим дерново-поверхностно-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2017. № 7. С. 36–43.
14. *Степанов А.Ф., Христинич В.В., Александрова С.Н.* Козлятник восточный: биология, возделывание, использование. Омск: Изд-во ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2017. 420 с.
15. *Сычев В.Г., Кирпичников Н.А.* Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА, 2009. 176 с.
16. *Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б.* Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13. DOI: [10.31857/S0002188120060125](https://doi.org/10.31857/S0002188120060125).
17. *Титова В.И., Шафранов О.Д., Варламова Л.Д.* Фосфор в земледелии Нижегородской области. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 219 с.
18. *Цветнов Е.В., Цветнова О.Б., Макаров О.А., Марахова Н.А.*

Проблемы оценки нейтрального баланса деградации земель на уровне региона Российской Федерации // Земледелие. 2020. № 2. С. 3–6. DOI: [10.24411/0044-3913-2020-10201](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10201).

19. *Fresne M., Jordan P., Fenton O., Mellander P.E., Daly K.* Soil chemical and fertilizer influences on soluble and medium-sized colloidal phosphorus in agricultural soils // Science of the total environment. 2021. Vol. 754. No. 142112. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142112](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142112).

20. *Jonczak J., Simansky V., Pollakova N.* Content and profile distribution of phosphorus fractions in arable and forest Cambic Chernozems // Sylwan. 2015. Vol. 159. No. 11. P. 931–939.

21. *Li C.L., Zhang P., Zhang J.J., Zhu P., Wang L.C.* Forms, transformations and availability of phosphorus after 32 years of manure and mineral fertilization in a Mollisol under continuous maize cropping // Archives of agronomy and soil science. 2020. DOI: [10.1080/03650340.2020.1787385](https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1787385).

22. *Ubugunov L.L., Merkusheva M.G., Enkhtuyaa B.* The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. DOI: [10.1134/S1064229315060113](https://doi.org/10.1134/S1064229315060113).

23. *Zav'yalova N.E.* Humus and nitrogen in soddy-podzolic soils of different agricultural lands in Perm Region // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. No. 11. P. 1269–1275. DOI: [10.1134/S1064229316110119](https://doi.org/10.1134/S1064229316110119).

REFERENCES

1. *Agroklimaticheskie resursy Permskoi oblasti* (Agroclimatic resources of the Perm region), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979, 156 p.
2. *Andrianov S.N., Formirovanie fosfatnogo rezhima dernovo-podzolistoi pochvy v raznykh sistemakh udobrenii* (Formation of the phosphate regime of sod-podzolic soil in different fertilization systems), Moscow: VNIIA, 2004, 296 p.
3. *Balgabaev A.M., Eleshev R.E., Umbetov A.K., Ivanov A.L., Rogova O.B., Kolobova N.A.*, Stocks and fraction composition of phosphorus in the Ili Alatau foothill soils and their change under long-term use, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 101. pp. 124–158, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-124-158](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-124-158).
4. *Volynkina O.V.*, Balans pitatel'nykh veshchestv na posevakh sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Balance of nutrients in agricultural crops), *Plodorodie*, 2020, No. 4, pp. 13–16, DOI: [10.25680/S19948603.2020.115.04](https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.115.04).
5. *Ginzburg K.E., Fosfor osnovnykh tipov pochv SSSR* (Phosphorus of the main types of soils in the USSR), Moscow: Nauka, 1981, 244 p.

6. Grebennikov A.M., Isaev V.A., Yudin S.A., Saprykin S.V., Cheverdin Yu.I., Influence of tillage on stocks of nutrients in segregated chernozem, *Vestnik of the Russian agricultural science*, 2018, No. 6, pp. 13–18. DOI: [10.30850/vrsn/2018/6/13-18](https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/13-18).
7. Gulyakin I.V., Chuprikov Yu.K., Vliyanie udobrenii na fosfatnyi rezhim dernovo-podzolistoi pochvy (The effect of fertilizers on the phosphate regime of sod-podzolic soil), *Agrokhimiya*, 1973, No. 8, pp. 15–23.
8. Ivanov A.L., Sychev V.G., Derzhavin L.M., *Agrobiogeokhimicheskii tsikl fosfora* (Agrobiogeochemical cycle of phosphorus), Moscow: Tipografiya Rossel'khozakademii, 2012, 512 p.
9. Kaigorodov A.T., Piskunova N.I., Sovremennoe sostoyanie pochvennogo plodorodiya pakhotnykh zemel' Permskogo kraya (The current state of soil fertility of arable lands in the Perm region), *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017, Vol. 31, No. 4, pp. 22–26.
10. Kosolapova A.I., Zav'yalova N.E., Mitrofanova E.M., Vasbieva M.T., Yamaltdinova V.R., Fomin D.S., Teterlev I.S., Effektivnost' dlitel'nogo primeneniya udobrenii na dernovo-podzolistykh pochvakh Predural'ya (The effectiveness of long-term use of fertilizers on turf-podzolic soils of the Cis-Urals), *Agrokhimiya*, 2018, No. 2, pp. 42–55, DOI: [10.7868/S0002188118020047](https://doi.org/10.7868/S0002188118020047).
11. Krasnitskii V.M., Shmidt A.G., Matveichik O.A., Bobrenko I.A., Dinamika podvizhnogo fosfora v pochvakh lesostepi Zapadnoi Sibiri (Dynamics of mobile phosphorus in the soils of the forest-steppe of Western Siberia), *Plodorodie*, 2020, No. 2, pp. 57–60, DOI: [10.25680/S19948603.2020.113.17](https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.17).
12. Mineev V.G., Gomonova N.F., Deistvie i posledestvie udobrenii na plodorodie dernovo-podzolistoi srednesuglinistoi pochvy (Effect and aftereffect of fertilizers on the fertility of sod-podzolic medium loamy soil), *Agrokhimiya*, 2005, No. 1, pp. 5–13.
13. Mitrofanova E.M., Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobrenii i posledestviya izvesti na fosfatnyi rezhim dernovo-poverkhnostnopodzolistoi pochvy Predural'ya (The influence of long-term use of mineral fertilizers and the aftereffect of lime on the phosphate regime of sod-surface podzolic soil in the Urals), *Agrokhimiya*, 2017, No. 7, pp. 36–43.
14. Stepanov A.F., Khristich V.V., Aleksandrova S.N., *Kozlyatnik vostochnyi: biologiya, vozdeleyvanie, ispol'zovanie* (Eastern galega: biology, cultivation, use), Omsk: FGBOU VO Omskii GAU, 2017, 420 p.
15. Sychev V.G., Kirpichnikov N.A., *Priemy optimizatsii fosfatnogo rezhima pochv v agrotekhnologiyakh* (Techniques for optimizing the phosphate regime of soils in agricultural technologies), Moscow, VNIIA, 2009, 176 p.

16. Sychev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B., Plodorodie pochv Rossii i puti ego regulirovaniya (Soil fertility of Russia and ways of its regulation), *Agrokhimiya*, 2020, No. 6, pp. 3–13, DOI: [10.31857/S0002188120060125](https://doi.org/10.31857/S0002188120060125).
17. Titova V.I., Shafronov O.D., Varlamova L.D., *Fosfor v zemledelii Nizhegorodskoi oblasti* (Phosphorus in agriculture of the Nizhny Novgorod region), Nizhny Novgorod: Izd-vo VVAGS, 2005, 219 p.
18. Tsvetnov E.V., Tsvetnova O.B., Makarov O.A., Marakhova N.A., Problemy otsenki neutral'nogo balansa degradatsii zemel' na urovne regiona Rossiiskoi Federatsii (Problems of assessing the neutral balance of land degradation at the regional level of the Russian Federation), *Zemledelie*, 2020, No. 2, pp. 3–6. DOI: [10.24411/0044-3913-2020-10201](https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10201).
19. Fresne M., Jordan P., Fenton O., Mellander P.E., Daly K., Soil chemical and fertilizer influences on soluble and medium-sized colloidal phosphorus in agricultural soils, *Science Of The Total Environment*, 2021, Vol. 754, No. 142112, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.142112](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142112).
20. Jonczak J., Simansky V., Pollakova N., Content and profile distribution of phosphorus fractions in arable and forest Cambic Chernozems, *Sylwan*, 2015, Vol. 159, No. 11, pp. 931–939.
21. Li C.L., Zhang P., Zhang J.J., Zhu P., Wang L.C., Forms, transformations and availability of phosphorus after 32 years of manure and mineral fertilization in a Mollisol under continuous maize cropping, *Archives of agronomy and soil science*, 2020, DOI: [10.1080/03650340.2020.1787385](https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1787385).
22. Ubugunov L.L., Merkusheva M.G., Enkhtuyaa B., The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite, *Eurasian Soil Science*, 2015, Vol. 48, No. 6, pp. 634–642, DOI: [10.1134/S1064229315060113](https://doi.org/10.1134/S1064229315060113).
23. Zav'yalova N.E., Humus and nitrogen in soddy-podzolic soils of different agricultural lands in Perm Region, *Eurasian Soil Science*, 2016, Vol. 49, No. 11, pp. 1269–1275, DOI: [10.1134/S1064229316110119](https://doi.org/10.1134/S1064229316110119).

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138



Ссылки для цитирования:

Гордиенко О.А. Определение запечатанности почв и грунтов функциональных зон г. Волгограда на основе данных дистанционного зондирования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 116-138. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138

Cite this article as:

Gordienko O.A., Determination of soil and ground sealing in functional zones of Volgograd based on remote sensing data, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 116-138, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138

Определение запечатанности почв и грунтов функциональных зон г. Волгограда на основе данных дистанционного зондирования

© 2021 г. О. А. Гордиенко

*ФГБНУ “Федеральный научный центр агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук”, Россия,*

400062, Волгоград, пр-т Университетский, 97,

<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

*Поступила в редакцию 17.05.2021, после доработки 10.06.2021,
принята к публикации 16.06.2021*

Резюме: В работе приводятся результаты дешифрирования запечатанных почв и грунтов для территории г. Волгограда и его различных функциональных зон. Определение доли запечатанности осуществлялось посредством автоматизированного метода путем классификации космоснимка QuickBird методом “максимального правдоподобия”. В качестве объектов исследования выбраны территории всех районов города Волгограда, а также селитебные и рекреационные функциональные зоны. Установлено, что запечатанные поверхности занимают около 169.4 км² (20.5% от всей площади города). Однако для каждого из районов города и каждой функциональной зоны характерна своя доля запечатанных территорий. Наиболее запечатанными оказались поверхности Тракторозаводского (24.2%), Ворошиловского (33.0%), Дзержинского (37.4%), Центрального (45.2%), Краснооктябрьского

(39.4%) и Красноармейского (26.6%) районов Волгограда. Почвенный покров Советского (13.5%) и Кировского (12.9%) районов запечатан в наименьшей степени. Запечатанность функциональных зон также варьирует в широких пределах. Так, наибольшие значения запечатанности (до 63%) характеризуют много-, мало- и среднеэтажную зону. Широкий интервал значений (от 26 до 51%) соответствует территориям зон индивидуальной жилой застройки, а также коллективных садов и дач (от 9.6 до 39.5%). В рекреационной зоне средняя запечатанность на уровне 27.6%. Таким образом, выявленная доля запечатанных поверхностей на территории Волгограда и его функциональных зон позволит в дальнейшем эффективно решать задачи территориального планирования при реализации работ по озеленению и благоустройству городской территории.

Ключевые слова: запечатанность, Ekranic Technosols, дешефрирование космоснимков, метод максимального правдоподобия.

Determination of soil and ground sealing in functional zones of Volgograd based on remote sensing data

© 2021 O. A. Gordienko

Volgograd State University

*100 Prospect Universitetskyy, Volgograd 400062, Russian Federation,
<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.*

Received 17.05.2021, Revised 10.06.2021, Accepted 16.06.2021

Abstract: The paper presents the results of interpretation of sealed soils and ground for the territory of Volgograd and its various functional zones. Determination of the sealed portion was performed by means of automated method using ENVI 4.7 software by means of QuickBird space image classification using the “maximum likelihood” method. The study objects were the territories of all districts of Volgograd, as well as residential and recreational functional zones. It was found that the sealed surfaces occupy about 169.4 km² (20.5% of the total area of the city). However, the city districts and functional zones differ significantly in proportion of sealed areas. The most sealed surfaces were those of Tractorozavodsky (24.2%), Voroshilovskyy (33.0%), Dzerzhinskyy (37.4%), Centralnyy (45.2%), Krasnooktyabrskyy (39.4%) and Krasnoarmeyskyy (26.6%) districts of Volgograd. Soil cover of the Sovetskyy (13.5%) and Kirovskyy (12.9%) districts is least sealed. Sealing of functional zones also varies widely. Thus, the

highest values of sealing (up to 63%) characterize the multi-, low- and medium-rise constructions zones. A wide range of values (from 26 to 51%) corresponds to the areas of individual residential development, as well as collective gardens and dachas (from 9.6 to 39.5%). In the recreational zone average sealing is at 27.6% level. Thus, the identified share of sealed surfaces on the territory of Volgograd and its functional zones will allow solving effectively the problems of territorial planning in the further implementation of works on gardening and landscaping of urban areas.

Keywords: sealing, Ekranic Technosols, imagery interpretation, maximum likelihood method, Volgograd, functional zones.

ВВЕДЕНИЕ

Запечатывание почв и грунтов представляет собой наиболее интенсивную форму деградации земель и затрагивает все экосистемные функции ([Город..., 1997](#)). К запечатанным почвам – экраноземам ([Прокофьева, 1998](#)) и Ekranic Technosols, по WRB-2014 (update-2015) ([IUSS, 2015](#)), – относятся почвы, перекрытые различными непроницаемыми материалами (рис. 1).



Рис. 1. Профили почв и грунтов, запечатанных под плотным непроницаемым материалом.

Fig. 1. Profiles of soils and grounds sealed beneath technogenic hard material.

Они представляют собой особую форму проявления урбо-технопедогенеза и объединяют антропогенно-трансформированные и искусственно созданные почвы, сформированные как на культурном слое, так и на насыпных, переотложенных и перемещенных грунтах. В нашем понимании к запечатанным поверхностям относятся любые как естественные, так и антропогенно-преобразованные и специальным образом конструированные поч-

вы и грунты.

В настоящий момент задача по определению запечатанности территории является приоритетной, так как все незастроенные (открытые) участки города могут быть в дальнейшем озеленены и благоустроены.

Запечатывание почв в процессе роста городов можно считать активным фактором опустынивания ([Barbero-Sierra et al., 2013](#); [Кошелева и др., 2021](#); [Шинкаренко и др., 2020](#)) за счет усиления действия эффекта “городского острова тепла”, который представляет собой совокупность ареалов повышенных температур над городами и крупными промышленными зонами, образующихся в результате повышенного выброса в атмосферу тепловой энергии. Увеличение зон перегрева поверхности урбанизированной среды, в свою очередь, негативно скажется на комфортности проживания людей и работе городского хозяйства ([Xiao et al., 2013](#)). Процесс запечатывания почв и грунтов в городах напрямую влияет на регулирующие функции почв ([Tobias, 2013](#); [Charzyński, 2016](#); [Tikhonova et al., 2020](#)). Еще одним негативным последствием герметизации поверхности является препятствие инфильтрации воды и усиление поверхностного стока ([Nakayama et al., 2007](#)). Часто запечатанными оказываются и бывшие сельскохозяйственные угодья. Это особенно характерно для городов с быстро растущим населением и экономикой ([Toth, 2012](#); [Salvati, 2014](#)). Как правило верхний слой почв при запечатывании поверхностей срезается, что влечет за собой значительную потерю биоразнообразия почв ([Scalenghe, Ajmone, 2009](#)). Таким образом, герметизация снижает содержание общего числа микроорганизмов, углерода и азота, а также нарушает процессы дыхания почв ([Piotrowska-Dlugosz, Charzyński, 2015](#)). Несмотря на явное негативное действие запечатанности почвенного покрова, экранированные почвы и грунты выполняют функцию сохранения информации о динамике природной среды и ее исторической трансформации в результате человеческой деятельности.

Целью данного исследования является установление доли запечатанных поверхностей в районах г. Волгограда и в различных селитебных и рекреационных зонах по данным дистанционного зондирования Земли.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Проблемы, связанные с запечатыванием почв описаны в трудах многих отечественных и зарубежных авторов. Но установление степени и площади запечатанных поверхностей выполнено лишь для нескольких городов России и мира. Литературных источников по данному вопросу мало. На территории Российской Федерации подобные исследования проведены для г. Москвы ([Власов и др., 2017](#); [Никифорова и др., 2017](#); [Хайбрахманов и др., 2017](#)) и агломерации в целом ([Савин, 2013](#)), Ростова-на-Дону ([Горбов и др., 2016](#)), а также частично для Волгограда ([Гордиенко и др., 2019](#); [Кошелева, 2019](#)). Стоит отметить, что работы в г. Волгограде носят технический характер без детального анализа запечатанности почвенного покрова функциональных зон города в разных его районах.

Исследования зарубежных ученых по данному вопросу ограничиваются анализом запечатанности территории таких крупных городов, как Мадрид ([Cortijo, González, 2017](#); [García, Pérez, 2016](#); [García, Pérez, 2016](#)), Барселона ([Salvati, Carlucci, 2016](#)), Трнава ([Kopecká, Rosina, 2012](#)), Рим ([Tombolini, 2015](#)) и Бака-эль-Гарбия ([Мохамед, 2015](#)).

В качестве объектов исследования выбраны территории всех районов города Волгограда и следующие селитебные и рекреационные функциональные зоны: много-, средне- и малоэтажной жилой застройки, индивидуального жилищного строительства, коллективных садов и дач, а также озелененных рекреационных территорий (парков и скверов). По данным картографирования, общая площадь г. Волгограда составляет 825.6 км².

Для определения запечатанности поверхности используют различные геоинформационные методы. Выделяют ручной (визуальный) и автоматизированный методы дешифрирования. Ранее при определении запечатанности почвенного покрова г. Волгограда и его функциональных зон применялся метод ручного дешифрирования ([Гордиенко и др., 2019](#)). При использовании ручного метода возможно получение только фактической информации о доли запечатанных поверхностей без детального пространственного их распределения. Визуальный метод позволяет оперировать

точностью 75–85% и зависит от качества космоснимка, опыта дешифровщика, программного обеспечения и пр. Для картографирования экранированных территорий наиболее подходящим выглядит автоматизированный метод с ручным обучением. Данный подход позволяет с точностью до 97% определить запечатанность территории ([Савин, 2013](#)). Поэтому в данной работе применялся именно автоматизированный метод с применением программного обеспечения ENVI 4.7.

Для определения доли запечатанности в каждом заявленных функциональных зонах в каждом районе выбрано по 3–5 тестовых полигонов. Общее количество полигонов составило 140. Картографирование осуществлялось по пятиэтапной схеме ([Кулик, 2004](#)). Несомненным преимуществом космических снимков является охват большой территории, однако определение запечатанности методом тестовых полигонов обусловлено последующим их сравнением между собой в пределах одной функциональной зоны. Площадь тестовых полигонов для зоны застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями составила в среднем 0.32 км^2 , для зоны индивидуального жилищного строительства – 0.21 км^2 , для зоны коллективных садов и дач – 0.22 км^2 . Площадь тестовых полигонов в рекреационных зонах была различной: от 0.002 до 0.027 км^2 в скверах и от 0.011 до 0.51 км^2 в парках. Использование полигонов разной площади в рекреационных зонах обусловлено тем, что при анализе данных о доли запечатанных почв не производилось сравнение этих зон между районами города.

Картографирование осуществлялось путем классификации мозаики космоснимков естественных цветов со спутника QuickBird (15.05.2018), находящихся в свободном доступе в глобальной сети Интернет по методу “максимального правдоподобия” (рис. 2) (google.ru/maps).

Классификация по методу максимального правдоподобия осуществлялась на основе цветового (RGB) анализа космоснимков. Каждый из 140 снимков проходил процедуру автоматизированного дешифрирования на предмет выделения на нем всего 3-х классов: открытые поверхности почв, запечатанные поверхности и травянистая и древесно-кустарниковая растительность.

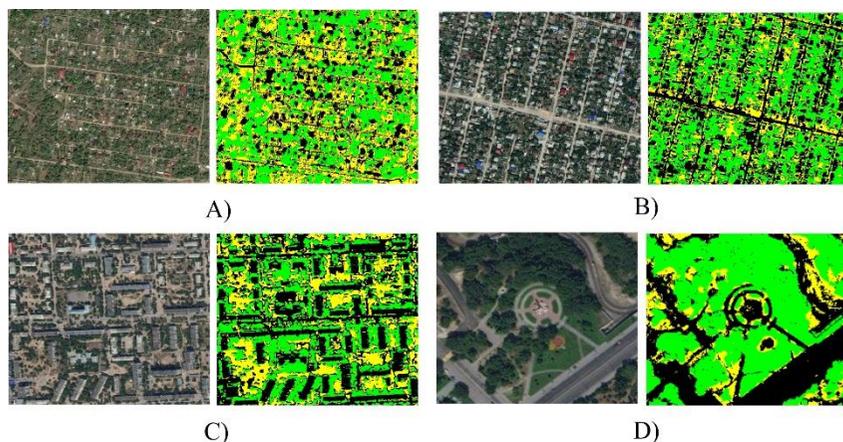


Рис. 2. Пример классификации космического снимка методом максимального правдоподобия.

Fig. 2. Example of space image classification by maximum likelihood method.

На исследуемых космоснимках вручную выделялись эталонные участки для каждого из классов, после чего в программном обеспечении производился процесс классификации. Количество точек для каждого класса было не менее 20. Определение точности проведенной классификации осуществлялось с применением программного обеспечения ENVI 4.7. Для определения точности проведенной классификации составляются матрицы ошибок, по которым можно судить о достоверности каждого класса и дешифрирования в целом. Ошибкой пропуска (omission) является доля элементов какого-либо класса, которые были пропущены, т. е. не были к нему отнесены. Ошибкой присоединения (commission) является доля выделов, ошибочно отнесенных к необходимому классу. Для определения общей достоверности классификации используется коэффициент “каппа” – κ (Foody, 1992). Каппа коэффициент при классификации территории города и различных функциональных зон составил от 0.94 до 0.97. Расчет коэффициента каппа, а также составление матрицы ошибок производились для каждого из 140 снимков (полигонов). Пример составленной матрицы ошибок и значение коэффициента “каппа” представлен в таблице 1.

Таблица 1. Матрица ошибок классификации (% и пиксели)
Table 1. Matrix of classification errors (% and pixels)

Эталонные участки	Результат классификации (в числителе в %, в знаменателе в пикселях)					
	классы			Всего пикселей	ошибки	
	1	2	3		omission	commission
Зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями						
Способ максимального правдоподобия ($\kappa = 0.96$)						
1	<u>97.33</u> 1240	<u>1.57</u> 10	<u>0.81</u> 4	1254	<u>2.67</u> 34/1274	<u>1.12</u> 14/1254
2	<u>1.02</u> 13	<u>96.71</u> 617	<u>0.00</u> 0	630	<u>3.29</u> 21/638	<u>2.06</u> 13/630
3	<u>1.65</u> 21	<u>1.72</u> 11	<u>99.19</u> 491	523	<u>0.81</u> 4/495	<u>6.12</u> 32/523
Всего	<u>100</u> 1274	<u>100</u> 638	<u>100</u> 495	2407	-	-
Зона застройки индивидуальными жилыми домами						
Способ максимального правдоподобия ($\kappa = 0.94$)						
1	<u>95.73</u> 2353	<u>0.39</u> 4	<u>4.63</u> 26	2383	<u>4.27</u> 105/2458	<u>1.26</u> 30/2383
2	<u>0.98</u> 24	<u>99.41</u> 1015	<u>0.00</u> 0	1039	<u>0.59</u> 6/1021	<u>2.31</u> 24/1039
3	<u>3.3</u> 81	<u>0.20</u> 2	<u>95.37</u> 536	619	<u>4.63</u> 26/562	<u>13.41</u> 83/619
Всего	<u>100</u> 2458	<u>100</u> 1021	<u>100</u> 562	4041	-	-
Зона коллективных садов и дач						
Способ максимального правдоподобия ($\kappa = 0.97$)						
1	<u>97.6</u> 1218	<u>0.00</u> 0	<u>0.46</u> 5	1223	<u>2.4</u> 30/1248	<u>0.41</u> 5/1223
2	<u>0.00</u> 0	<u>100.0</u> 1476	<u>3.79</u> 41	1517	<u>0.00</u> 0/1476	<u>2.7</u> 41/1517
3	<u>2.4</u> 30	<u>0.00</u> 0	<u>95.74</u> 1035	1065	<u>4.26</u> 46/1081	<u>2.82</u> 30/1065
Всего	<u>100</u> 1248	<u>100</u> 1476	<u>100</u> 1081	3805	-	-

Продолжение таблицы 1
 Table 1 continued

Зона озелененных территорий рекреационного назначения						
Способ максимального правдоподобия ($\kappa = 0.96$)						
1	<u>96.71</u> 1293	<u>0.18</u> 2	<u>2.24</u> 76	1371	<u>3.29</u> 44/1337	<u>5.69</u> 78/1371
2	<u>0.97</u> 13	<u>99.82</u> 1100	<u>0.06</u> 2	1115	<u>0.18</u> 2/1102	<u>1.35</u> 15/1115
3	<u>2.32</u> 31	<u>0.00</u> 0	<u>97.7</u> 3309	3340	<u>2.3</u> 78/3387	<u>0.93</u> 31/3340
Всего	<u>100</u> 1337	<u>100</u> 1102	<u>100</u> 3387	5826	-	-

Примечание. 1 – открытые поверхности почв; 2 – запечатанные поверхности; 3 – травянистая и древесно-кустарниковая растительность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результат классификации исследуемого космоснимка представлен на рисунке 3.

Анализ территории г. Волгограда с использованием автоматизированного метода показал, что запечатанные поверхности занимают около 169.4 км² или 20.5% от всей площади города, на открытые участки приходится 491.2 км² (59.49%) и на травянистую и древесно-кустарниковую растительность – 165 км² (20.01%). Наиболее запечатанными оказались поверхности Тракторозаводского (24.2%), Ворошиловского (33.0%), Дзержинского (37.4%), Центрального (45.2%), Краснооктябрьского (39.4%) и Красноармейского (26.6%) районов Волгограда.

Это обусловлено тем, что в этих районах наиболее развита дорожно-транспортная сеть, сконцентрированы основные промышленные и жилые объекты, проживает большая часть населения города. Почвенный покров Советского (13.5%) и Кировского (12.9%) районов города, вследствие малой плотности застройки и отсутствия промышленных объектов, в наименьшей степени запечатан.

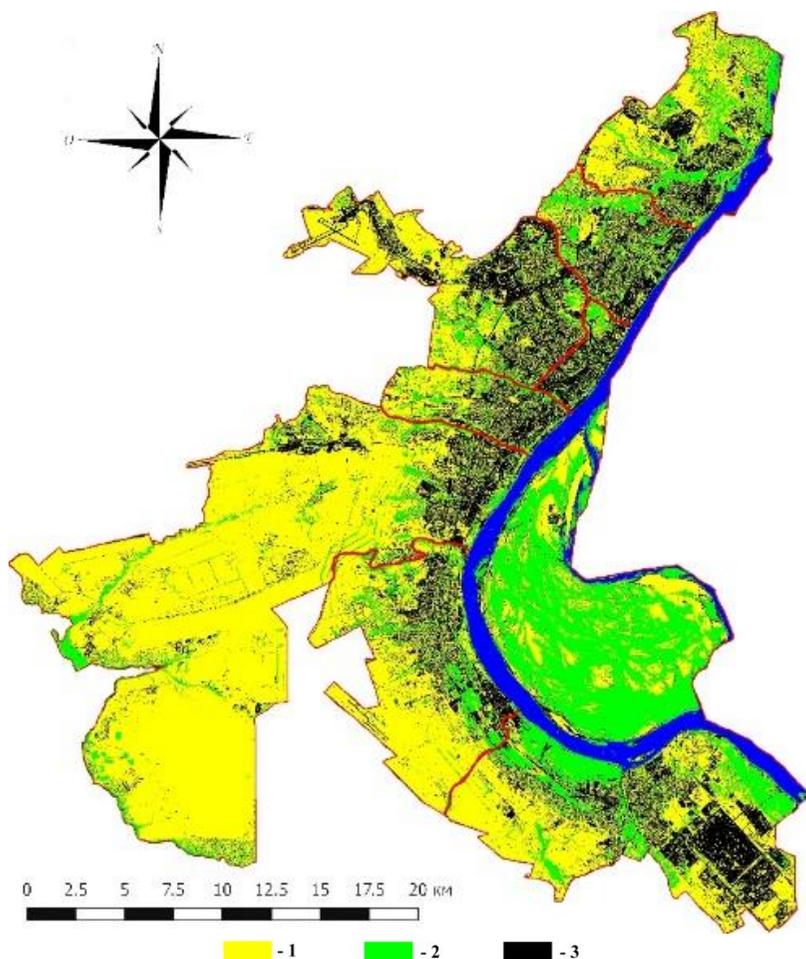


Рис. 3. Карта-схема распределения открытых и запечатанных поверхностей методами автоматизированного дешифрирования космоснимков в пределах г. Волгограда: 1 – открытые поверхности почв; 2 – травянистая и древесно-кустарниковая растительность; 3 – запечатанные поверхности.

Fig. 3. Schematic map of the distribution of open and sealed surfaces by methods of automated space imagery interpretation within Volgograd city limits: 1 – exposed soil surfaces; 2 – herbaceous and woody-bush vegetation; 3 – sealed surfaces.

Небольшая доля запечатанных почв на территории г. Волгограда обусловлена присоединением в 2014 г. сопредельных территорий. Присоединенные участки в основном представляют собой сельскохозяйственные угодья и крупный речной остров (о. Сарпинский). Это привело к искусственному уменьшению запечатанности городской территории.

Для каждой функциональной зоны в каждом районе города характерна своя доля экранированных поверхностей.

Зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями. Площадь зоны составляет 41,8 км² (5,1% от всей площади города). Согласно Генеральному плану развития г. Волгограда, максимальный процент запечатанности в границах зоны должен составлять не более 60%. Средняя запечатанность зоны составляет 49,2%, наибольшие экранированные территории зафиксированы в Ворошиловском (55,8%) и Краснооктябрьском (52,6%) районах города, связано это с небольшой общей площадью районов и высокой численностью населения. Наименьший процент запечатанности отмечен в Дзержинском (43,9%), Кировском (46,3%) и Красноармейском (45,6%) районах (рис. 4., табл. 2).

Минимальный процент запечатанности тестового полигона – на уровне 35,6% (Дзержинский район), максимальный – 63,2% (Ворошиловский район). В целом для селитебной зоны характерен широкий диапазон запечатанности как по районам города, так и для всей зоны в общем. Это обусловлено тем, что современные жилищные комплексы, как правило, слабо озеленены и почти полностью заасфальтированы.

Таблица 2. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями (%)
Table 2. Variation of soil sealing in the zone of multi-, low- and medium-rise residential buildings (%)

Запечатанность, %	n	min	Q1	med	Q3	max	M	s	V, %
Тракторозаводской	5	41.4	43.6	51.5	55.2	59.1	50.2	6.736	0.134
Краснооктябрьский	5	48.2	51.8	53	53.3	56.8	52.6	2.767	0.053
Дзержинский	5	35.6	43.4	45.2	47.4	47.7	43.9	4.416	0.101
Центральный	3	48.3	48.5	48.8	50.1	51.4	49.5	1.359	0.027
Ворошиловский	5	46.1	54.2	56.5	58.9	63.2	55.8	5.683	0.102
Советский	5	45.6	48.6	50.5	50.5	51.8	49.4	2.157	0.044
Кировский	4	37.4	44.9	48.5	49.8	50.6	46.2	5.239	0.113
Красноармейский	5	36.6	39.8	46.9	52.3	52.5	45.6	6.463	0.142
Вся зона	37	35.6	46.1	49.6	52.5	63.2	49.2	6.136	0.125

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Зона застройки индивидуальными жилыми домами. Общая площадь зоны в пределах города составляет 61.4 км² (7.4% от всей площади). Процент запечатанных поверхностей, так же как и в селитебной зоне, варьирует в широких пределах – от 26.1% до 50.9%. Наиболее низкий процент запечатанности полигонов зафиксирован в Красноармейском (26.1%) и Краснооктябрьском (26.6%) районах (рис. 4., табл. 3). В Тракторозаводском, а также Кировском районах максимальный процент запечатанности территории тестовых полигонов отмечен на уровне 50.9 и 46.8% соответственно. Такой широкий диапазон минимальных и максимальных процентов запечатанности обусловлен тем, что в разные временные периоды развития данной зоны минимальные и максимальные площади индивидуальных наделов были разные. Так площадь современных участков, отданных под индивидуальное

жилищное строительство, меньше, чем более старых. Современная зона индивидуального строительства характеризуется высокой плотностью застройки. Максимальный процент запечатанности в границах земельного участка, определяемый как отношение площади, которая может быть застроена, к суммарной площади участка, согласно Генеральному плану развития, не должен превышать 50%. На основании проведенного геоинформационного анализа установлено, что запечатанность в зоне застройки индивидуальными жилыми домами не превышает установленных в регламенте значений.

Таблица 3. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны застройки индивидуальными жилыми домами (%)

Table 3. Variation of soil sealing in the zone of individual residential houses (%)

Запечатанность, %	n	min	Q1	med	Q3	max	M	s	V, %
Тракторозаводской	3	46.7	47.1	47.5	49.2	50.9	48.4	1.821	0.038
Краснооктябрьский	4	26.6	31.4	34.3	36.4	38.4	33.5	4.379	0.131
Дзержинский	4	38.8	40.6	41.9	42.6	42.7	41.3	1.574	0.038
Ворошиловский	5	33.6	36.3	36.3	38.8	41.1	37.2	2.544	0.068
Советский	5	34.1	39.6	42.3	45	45	41.2	4.076	0.099
Кировский	5	32	39	40.8	41.5	46.8	40	4.778	0.119
Красноармейский	5	26.1	29.8	30.8	31.5	33.6	30.3	2.468	0.081
Вся зона	30	26.1	33.6	38.8	42.1	50.9	38	6.009	0.158

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Зона коллективных садов и дач общей площадью 69.4 км² (8.4%) представлена коллективными садами, огородами и дачами. Для зоны в целом характерен небольшой процент запечатанности почвенного покрова (23%) (рис. 4., табл. 4). Однако, как и в зоне

индивидуального строительства, в зависимости от возраста образования зоны и плотности застройки процент запечатанности сильно варьирует – от 9.6 до 39.5%. Так, наименьший процент (9.6%) запечатанности зафиксирован в тестовом полигоне в Краснооктябрьском районе города, а наивысший – в Советском (39.5%). Запечатанность на территории Тракторозаводского, Ворошиловского и Советского районов не превышает 28%. Максимальный процент запечатанности в границах функциональной зоны, согласно градостроительным документам, не должен превышать 40%. Согласно данным геоинформационного анализа, установлено, что запечатанность в зоне коллективных садов и дач не превышает предписанных в регламенте значений.

Таблица 4. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны коллективных садов и дач (%).

Table 4. Variation of soil cover sealing in collective gardens and dachas (%)

Запечатанность, %	n	min	Q1	med	Q3	max	M	s	V, %
Тракторозаводской	5	18.9	28.7	29	29.1	30	27.1	4.143	0.153
Краснооктябрьский	5	9.6	12.8	14.3	15.5	38.3	18.1	10.292	0.569
Дзержинский	3	17	21.5	26	26	26	23	4.243	0.184
Ворошиловский	5	18	23	24.4	28.6	37	26.2	6.374	0.243
Советский	5	14.4	25.4	25.5	32.8	39.5	27.5	8.392	0.305
Кировский	4	13.8	16	18.9	22.5	26.7	19.6	4.851	0.248
Красноармейский	4	13.7	14.9	17.1	22.1	31.4	19.8	6.940	0.350
Вся зона	31	9.6	16.1	24.4	28.8	39.5	23.2	7.939	0.341

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Зона озелененных территорий рекреационного назначения. Согласно Генеральному плану развития г. Волгограда, к зоне территорий рекреационного назначения относят: с/х территории,

парки, скверы, бульвары, дендросады, городские леса и пустыри. Общая площадь зоны составляет 309.6 км² или 37.5% от всей площади города, из них на с/х территории приходится 173.6 км². Из всего спектра рекреационных территорий в работе подлежат вниманию только парки и скверы, которые по сути являются озелененными территориями рекреационного назначения. Их общая площадь в пределах г. Волгограда составляет 3 км². Анализ запечатанности почвенного покрова рекреационной зоны выявил большое различие в соотношении экранированных поверхностей в скверах и парках (рис. 5., табл. 5).

Таблица 5. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны озелененных территорий рекреационного назначения (%)

Table 5. Variation of soil cover sealing in the zone of green areas of recreational use (%)

	n	min	Q1	med	Q3	max	M	s	V, %
Запечатанность, %	Скверы								
	7	22.1	25.9	29	34.4	39.6	30.2	5.958	0.197
	Парки								
	14	3.8	18.6	24.9	36.8	44.1	26.4	11.493	0.439
Вся зона	21	3.8	21.1	28	36.8	44.1	27.6	10.157	0.367

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Несмотря на среднюю запечатанность зоны в 27.6%, в скверах диапазон между минимальной и максимальной запечатанностью полигона в целом изменяется в небольших пределах (от 22.1% до 39.6%), тогда как в парках разница между минимальной и максимальной запечатанностью равна 40.7% (от 3.8% до 44.1%). Обусловлено это прежде всего тем, что в скверах более развита инфраструктура отдыха (асфальтированные дорожки, скамейки, памятники архитектуры, здания), тогда как в парках тропиноподобная сеть чаще всего менее развита, а основное пространство занято древесно-кустарниковой растительностью. Со-

гласно градостроительным документам, максимальный процент запечатанности для территории парка составляет 7%, для территории сквера – 5%. В результате геоинформационного анализа из всего перечня исследуемых парков (14 объектов) в 13 выявлено превышение норм по застройке более чем в 1.5–6 раз. В скверах также фиксируются превышения регламентированных показателей запечатанности в 4–6 раз.

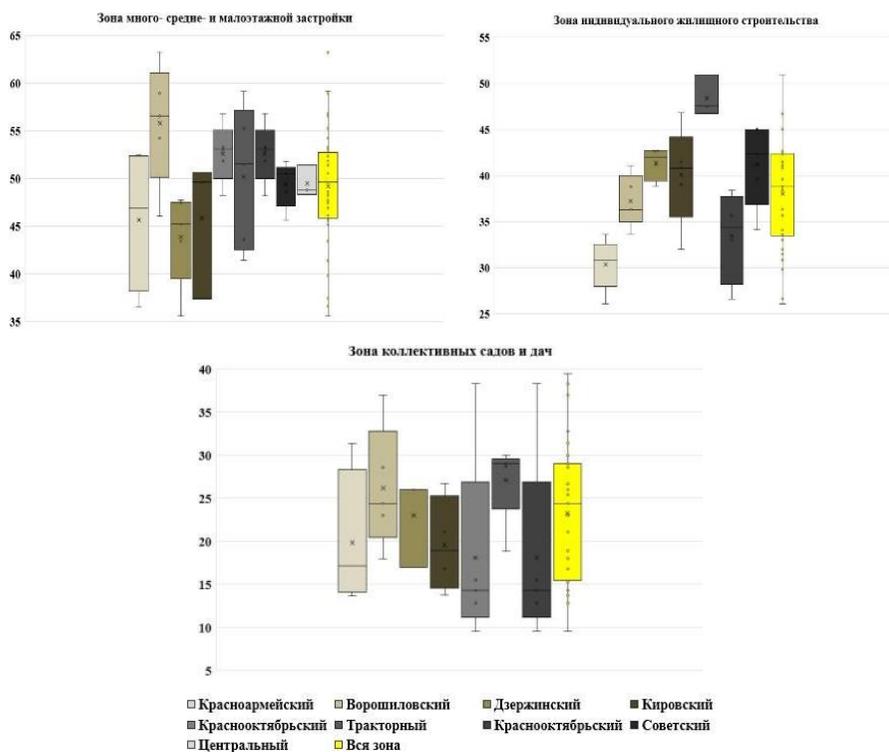


Рис. 4. Варьирование запечатанности почвенного покрова в селитебных зонах города г. Волгограда.

Fig. 4. Variation of soil sealing in residential areas of Volgograd city.

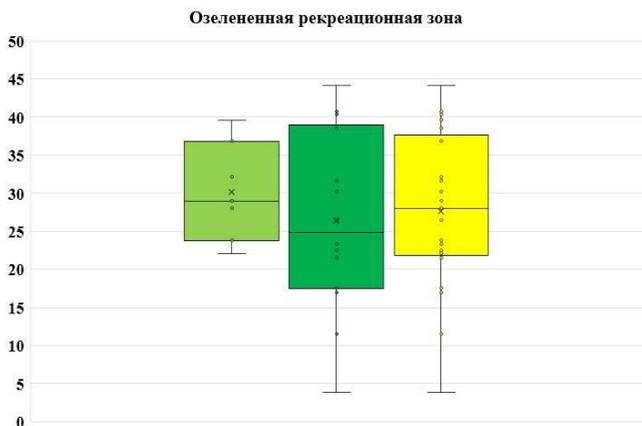


Рис. 5. Варьирование запечатанности почвенного покрова в рекреационных зонах г. Волгограда.

Fig. 5. Variation of soil sealing in the recreational areas of Volgograd.

ВЫВОДЫ

1. Использование спутниковых данных QuickBird позволяет дешифровать запечатанные почвы и грунты в условиях г. Волгограда с ошибкой, не превышающей 10%.

2. В результате геоинформационного анализа территории г. Волгограда установлено, что запечатанные поверхности занимают около 169.4 км² или 20.5% от всей площади города.

3. Результаты дешифрирования выявили, что в отдельных районах (Центральный район) г. Волгограда доля запечатанных почв и грунтов достигает 45%. Территории Кировского и Советского районов города в меньшей степени запечатаны (от 12.9% до 13.5% соответственно).

4. Запечатанность функциональных зон варьирует в широких пределах. Так в зоне много-, мало- и среднеэтажной жилой застройки максимальные значения запечатанности отмечены на уровне 63%. Широкий интервал значений (от 26% до 51%) приходится на зону индивидуальной застройки. Для зоны коллективных садов и дач также характерен широкий диапазон запечатанности поверхностей (от 9.6% до 39.5%). В рекреационной зоне средняя запечатанность сохраняется на уровне 27.6%.

5. Полученные сведения о запечатанности территории г. Волгограда могут быть востребованы для решения задач территориального планирования при реализации работ по озеленению и благоустройству городской территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е.* Картографирование ландшафтно-геохимической структуры урбанизированной территории (на примере Москвы) // *ИнтерКарто/ИнтерГИС*. 2017. Т. 23. № 1. С. 242–255.
2. *Горбов С.Н., Горовцов А.В., Безуглова О.С., Вардуни Т.В., Тагивердиев С.С.* Биологическая активность запечатанных почв Ростова-на-Дону // *Изв. Самарского научного центра РАН*. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 331–336.
3. *Гордиенко О.А., Манаенков И.В., Холоденко А.В., Иванцова Е.А.* Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда // *Почвоведение*. № 11. 2019. С. 1383–1392.
4. *Кошелева О.Ю.* Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 1. С. 12–18.
5. *Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С.* Суточная и сезонная динамика температуры поверхности города Волгограда // *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 1. С. 14–24.
6. *Кулик К.Н.* Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 247 с.
7. *Мохамед Е.С., Билял А., Шалабай А.* Оценка потерь плодородных почв в результате запечатывания по данным дистанционного зондирования и геоинформационных систем // *Почвоведение*. 2015. № 10. С. 1277.
8. *Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С.* Эколого-геохимическая оценка состояния запечатанных почв восточной Москвы // *Вестник РУДН*. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. С. 480–509.
9. *Почва, город, экология* / Под ред. *Добровольского Г.В.* М., 1997. 320 с.
10. *Прокофьева Т.В.* Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере Москвы). Автореф. Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1998. 24 с.

11. *Савин И.Ю.* Картографирование экраноземов Московской агломерации по спутниковым данным Landsat // Исследование земли из космоса. 2013. № 5. С. 55–61.
12. *Хайбрахманов Т.С., Никифорова, Е.М., Кошелева, Н.Е.* Картографическое обеспечение эколого-геохимической оценки запечатанных почв на урбанизированных территориях // ИнтерКарто/ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 1. С. 256–266.
13. *Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С.* Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 125–141.
14. *Barbero- Sierra C., Marques M.J., Ruiz- Pérez M.* The case of urban sprawl in Spain as an active and irreversible driving force for desertification // Journal of Arid Environments. 2013. No. 90. P. 95–102.
15. *Charzyński P., Plak A., Hanaka A.* Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors // Environmental Science and Pollution Research. 2016. No. 24. P. 4801–4811.
16. *Cortijo A.A., González M.E.P.* Soil sealing in Madrid (Spain), study case of Colmenar Viejo // Earth Sci. Res. 2017. Vol. 21. No. 3. P. 111–116.
17. *Foody G.M.* Classification accuracy assessment: some alternatives to the kappa coefficient for nominal and ordinal level classifications // Remote sensing from research to operation: Proc. the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society. 1992. Nottingham.
18. *García P., Pérez E.* Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain) // Geoderma. 2016. Vol. 268. P. 100–107.
19. *García P., Pérez E.* Monitoring Soil Sealing in Guadarrama River Basin, Spain, and Its Potential Impact in Agricultural Areas // Agriculture. 2016. No. 6. P. 1–11.
20. Google maps. URL: <https://www.google.ru/maps>.
21. IUSS Working Group World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO, Rome. 192 p.
22. *Kopecká M., Rosina K.* Soil Sealing Assessment in the Town Trnava // Geographical Information. 2012. No. 16. P. 192–203.
23. *Nakayama T., Watanabe M., Kazunori T., Morioka T.* Effect of underground urban structures on eutrophic coastal environments // Science of Total Environment. 2007. No. 373. P. 270–288.

24. *Piotrowska-Dlugosz A., Charzyński P.* The impact of soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physiochemical properties in the Ekranic Technosols of Toru. (Poland) // *Soils and Sediments*. 2014. No. 15. P. 47–59.
25. *Salvati L.* The Spatial Pattern of Soil Sealing along the Urban-Rural Gradient in a Mediterranean Region // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2014. No. 57. P. 848–861.
26. *Salvati L., Carlucci M.* The way towards land consumption: soil sealing and polycentric development in Barcelona // *Urban Studies*. 2016. No. 53 (2). P. 418–440.
27. *Scalenghe R., Ajmone Marsan F.* The anthropogenic sealing of soils in urban areas // *Landscape and Urban Planning*, 2009. No. 90. P. 1–10.
28. *Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I.* Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment // *Proc. of the IV International Scientific and Practical Conference “Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society”*. 2020. P. 286–291
29. *Tobias S.* Preserving ecosystem services in urban regions: Challenges for planning and best practice examples from Switzerland // *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2013. No. 9 (2). P. 243–251
30. *Tombolini I., Munafò M., Salvati L.* Soil sealing footprint as an indicator of dispersed urban growth: a multivariate statistics approach // *Urban Research & Practice*. 2015. Iss. 1. P. 1–15.
31. *Toth G.* Impact of land- take on the land resource base for crop production in the European Union // *Science of the Total Environment*. 2012. No. 435. 202–214.
32. *Xiao R., Su S., Zhang Z., Qi J., Jiang D., Wu J.* Dynamics of Soil Sealing and Soil Landscape Patterns under Rapid Urbanization // *Catena*. 2013. No. 109. P. 1–12.

REFERENCES

1. Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Kartografirovanie landshaftno-geohimicheskoy struktury urbanizirovannoy territorii (na primere Moskvy) (Mapping of landscape and geochemical structure of urban territory (Moscow case study)), *InterCarto/InterGIS*, 2017, No. 23, pp. 242–255.
2. Gorbov S.N., Gorovcov A.V., Bezuglova O.S., Varduni T.V., Tagiverdiev S.S., Biologicheskaya aktivnost' zapechatannyh pochv Rostovana-Donu (The biological activity of sealed soils in Rostov-on-Don city), *Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, No. 2, pp. 331–336.
3. Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Kholodenko A.V., Ivancova E.A., Kartografirovanie i ocenka stepeni zapechatannosti pochv goroda Volgograda

(Mapping and Assessment of Sealing Rate of Soils in the City of Volgograd), *Pochvovedenie*, 2019, No. 11, pp. 1383–1392.

4. Kosheleva O.Yu., Ocenka zapechatannosti pochvennogo pokrova goroda Volgograda (Evaluation of the sealed soil cover in the Volgograd city), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2019, No. 1, pp. 12–18.

5. Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S., Sutochnaya i sezonnaya dinamika temperatury poverhnosti goroda Volgograda (Daily and Seasonal Dynamics of Surface Temperature in the Volgograd City), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2021, No. 1, pp. 14–24.

6. Kulik K.N., *Agrolesomeliorativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* (Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes), Volgograd: VNIALMI, 2004, 247 p.

7. Mohamed E.S., Belal A., Shalaby A., Ocenka poter' plodorodnykh pochv v rezul'tate zapechatyvaniya po dan-nym distancionnogo zondirovaniya i geoinformacionnykh sistem (Impacts of soil sealing on potential agriculture in Egypt using remote sensing and GIS techniques), *Pochvovedenie*, 2015, No. 10, pp. 1159–1169.

8. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Hajbrahmanov T.S., Ekologo-geohimicheskaya ocenka sostoyaniya zapechatannykh pochv vostochnoj Moskvy (Environmental and geochemical assessment of sealed soils in the eastern Moscow), *Vestnik RUDN. Ser. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2017, pp. 480–509.

9. Dobrovol'skii G.V., *Soil, City, and Ecology*, Moscow, 1997, 320 p.

10. Prokofeva T.V., *Gorodskie pochvy, zapechatannye dorozhnymi pokrytiyami (na primere Moskvy): Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* (Urban soils sealed by road surfaces (the example of Moscow), Extended abstract of cand. biol. sci. thesis), Moscow, 1988, 24 p.

11. Savin I.Yu., Kartografirovaniye ekranozemov Moskovskoj aglomeracii po sputnikovym dannym Landsat (Mapping of sealed soils of Moscow agglomeration according to Landsat satellite data), *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2013, No. 5, pp. 55–61.

12. Khaibrakhmanov T.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Kartograficheskoe obespechenie ekologo-geohimicheskoy ocenki zapechatannykh pochv na urbanizirovannykh territoriyah (Cartographic support of environmental and geochemical evaluation of sealed soils on urbanized territories), *InterCarto/InterGIS*, 2017, No. 23, pp. 256–266.

13. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S., Analiz vliyaniya zapechatannosti pochvennogo pokrova i oze-

leneniya na pole temperatur Volgogradskoj aglomeracii po dannym MODIS (Analysis of the effect of soil sealing and landscaping on the thermal field of the Volgograd agglomeration from MODIS data), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, No. 5, pp. 125–141.

14. Barbero- Sierra C., Marques M.J., Ruiz- Pérez M., The case of urban sprawl in Spain as an active and irreversible driving force for desertification, *Journal of Arid Environments*, 2013, No. 90, pp. 95–102.

15. Charzyński P., Plak A., Hanaka A., Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, No. 24, pp. 4801–4811.

16. Cortijo A.A, González M.E.P., Soil sealing in Madrid (Spain), study case of Colmenar Viejo, *Earth Sci. Res*, 2017, No. 3, pp. 111–116.

17. Foody G.M., Classification accuracy assessment: some alternatives to the kappa coefficient for nominal and ordinal level classifications, *Remote sensing from research to operation: Proc. of the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society*, 1992, Nottingham.

18. García P., Pérez E., Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain), *Geoderma*, 2016, Vol. 268, pp. 100–107.

19. García P., Pérez E., Monitoring Soil Sealing in Guadarrama River Basin, Spain, and Its Potential Impact in Agricultural Areas, *Agriculture*, 2016, No. 6, pp. 1–11.

20. Google maps. URL: <https://www.google.ru/maps>.

21. IUSS Working Group World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, No. 106, FAO, Rome, 192 p.

22. Kopecká M., Rosina K., Soil Sealing Assessment in the Town Trnava, *Geographical Information*, 2012, No. 16, pp. 192–203.

23. Nakayama T., Watanabe M., Kazunori T., Morioka T., Effect of underground urban structures on eutrophic coastal environments, *Science of Total Environment*, 2007, No. 373, pp. 270–288.

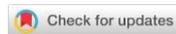
24. Piotrowska-Długosz A., Charzyński P., The impact of soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physiochemical properties in the Ekranic Technosols of Toru. (Poland), *Soils and Sediments*, 2014, No. 15, pp. 47–59.

25. Salvati L., The Spatial Pattern of Soil Sealing along the Urban-Rural Gradient in a Mediterranean Region, *Journal of Environmental Planning and Management*, 2014, No. 57, pp. 848–861.

26. Salvati L., Carlucci M., The way towards land consumption: soil sealing and polycentric development in Barcelona, *Urban Studies*, 2016, No. 53 (2), pp. 418–440.
27. Scalenghe R., Ajmone Marsan F., The anthropogenic sealing of soils in urban areas, *Landscape and Urban Planning*, 2009, No. 90, pp. 1–10.
28. Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I., Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment, *Proc. of the IV International Scientific and Practical Conference "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society"*, 2020, pp. 286–291.
29. Tobias S., Preserving ecosystem services in urban regions: Challenges for planning and best practice examples from Switzerland, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2013, No. 9 (2), pp. 243–251.
30. Tombolini I., Munafò M., Salvati L., Soil sealing footprint as an indicator of dispersed urban growth: a multivariate statistics approach, *Urban Research & Practice*, 2015, Iss. 1, pp. 1–15.
31. Toth G., Impact of land- take on the land resource base for crop production in the European Union, *Science of the Total Environment*, 2012, No. 435, 202–214.
32. Xiao R., Su S., Zhang Z., Qi J., Jiang D., Wu J., Dynamics of Soil Sealing and Soil Landscape Patterns under Rapid Urbanization, *Catena*, 2013, No. 109, pp. 1–12.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-139-179



Ссылки для цитирования:

Герасимова М.И., Богданова М.Д. Картография почв на страницах журнала “Почвоведение” (обзор публикаций с 1899 г.) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 139-179. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-139-179

Cite this article as:

Gerasimova M.I., Bogdanova M.D., Soil mapping in “Pochvovedenie” journal (review of publications since 1899), Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 139-179, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-139-179

Картография почв на страницах журнала “Почвоведение” (обзор публикаций с 1899 г.)

© 2021 г. М. И. Герасимова*, М. Д. Богданова**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1,
*<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>,
e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com,
**<https://orcid.org/0000-0003-4971-1586>,
e-mail: md-bogdanova@yandex.ru.*

*Поступила в редакцию 11.05.2021, после доработки 24.05.2021,
принята к публикации 16.06.2021*

Эту статью авторы посвящают светлой памяти Игоря Васильевича Иванова, ушедшего от нас в период написания статьи. Его замечательные работы по истории почвоведения служат примером живого описания событий, проникнутого их глубоким и объективным научным анализом.

Резюме: Обзор публикаций по почвенной картографии в журнале “Почвоведение” за 121 год показал разнообразие тематики статей и тренды в их динамике и количестве. Количество статей по картографии

почв (365 за 121 год), подсчитанное по пятилетним периодам, относительно стабильно: приблизительно по 10–15 статей с максимумами в послевоенное пятилетие, в 1965–1970 гг. и 2010–2015 гг. В большей части статей середины прошлого века содержится фактическая информация о почвенных картах разных регионов России; еще больше статей посвящено методологии и методам составления почвенных карт. В ранних работах рассматривались преимущественно крупномасштабные карты, многие статьи были ориентированы на решение прикладных задач. Методические статьи конца прошлого – начала текущего столетия ясно отражали внедрение новых для своего времени методов картографирования, например, дистанционных, цифровой почвенной картографии. Помимо вопросов составления почвенных карт, в статьях обсуждаются подходы к использованию почвенной информации для решения традиционных задач, в частности, для систем районирования, и относительно новых: создания оценочно-прогнозных карт или изучения педоразнообразия. Среди статей о картах районирования преобладают статьи о почвенно-географическом, позднее почвенно-экологическом, районировании; различным прикладным видам районирования уделено мало внимания. Обзор в известной мере подводит итоги развития традиционной почвенной картографии, выделяя наиболее значимые ее результаты.

Ключевые слова: почвенные карты, динамика публикаций, тематические блоки статей, почвенное районирование.

Soil mapping in “Pochvovedenie” journal (review of publications since 1899)

© 2021 M. I. Gerasimova*, M. D. Bogdanova**

*Lomonosov Moscow State University,
1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,*

*<https://orcid.org/0000-0002-1815-4476>,

e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com,

**<https://orcid.org/0000-0003-4971-1586>,

e-mail: md-bogdanova@yandex.ru.

Received 11.05.2021, Revised 24.05.2021, Accepted 16.06.2021

The authors dedicate this article to the blessed memory of Igor Vasilievich Ivanov, who passed away at the time when the article was in the process of

writing. His remarkable works on the history of soil science serve as an example of a lively description of events, imbued with their deep and objective scientific analysis.

Abstract: The overview of publications on soil cartography in “Pochvovedenie”/“Eurasian Soil Science” journal for the period 1899–2020 demonstrates a high diversity of themes and certain trends in the number and dynamics of papers. Their total number (365), calculated per 5-year-long intervals, was distributed rather evenly among these 121 years: approximately 10–15 papers in each interval, although three maximums are rather clear. The first one fell on the post-war interval and was followed by 1965–1970 and 2010–2015 maximums. Discussion of large-scale maps dominated the early publications, many of them tackled soil surveys and applied problems; in the mid-century papers, soil maps of various regions of the country were described since it was time of extensive terrain investigations; numerous were also papers concerning methodology of soil mapping. New approaches and technique were actively discussed in the papers at the turn of centuries, such as remote sensing or digital soil mapping. Along with map compilation issues, there are publications on applying information provided by soil maps for both traditional and novel purposes: schemes of zoning in the former case and development of prognostic maps or assessment of pedodiversity in the latter case. The majority of papers on zoning, concern soil-geographical (later soil-ecological) schemes, whereas the derived types of zoning, for example, ameliorative or erosional, are discussed in few papers. The performed overview may be regarded as summing up the results of traditional soil mapping development with emphasizing its most valuable achievements, as well as indicating the initial signs of new trends.

Keywords: soil maps, dynamic of publications, thematic map groups, soil-geographical zoning.

ВВЕДЕНИЕ

Публикация обзоров результатов и состояния исследований в той или иной области почвоведения, по какой-либо группе объектов или по методам исследований становится все более частой в последние годы и привлекает все больше внимания специалистов. Растущая популярность тематических обзоров объясняется обилием

ем информации и трудностями для специалиста в ней ориентироваться, в том числе с целью выбрать и/или оценить тематику собственной работы, ее значимость, новизну, оригинальность.

Обзоры приурочивались к юбилеям известных ученых или журнала, например, к столетнему юбилею журнала в 1999 г. было опубликовано несколько обзорных статей по химии почв, мелиорации, почвам зарубежных стран и другим темам. В них перечислены наиболее значимые публикации по отдельным научным направлениям в их развитии, изложены задачи, проблемы, перспективы исследований. Со временем аналитические обзоры стали дополняться наукометрическим анализом публикаций журнала, рассматривающим в историческом аспекте численность и продуктивность авторов/соавторов, количество публикаций, распределение авторов по странам и организациям, без рассмотрения содержания статей (Иванов, Луковская, 2003). Результаты наукометрического анализа представляют значительный интерес как ретроспектива интересов исследователей и одновременно как выявление “горячих точек”.

За время существования журнала в нем опубликовано более 350 статей по почвенной картографии. Представлению этих материалов и анализу разных направлений почвенной картографии в их многолетней динамике посвящен данный обзор.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Обзор основан на анализе публикаций в журнале “Почвоведение” за период с 1899 по 2020 гг. включительно. В анализ были включены статьи, имеющие в названиях слова: карты, картография, картографирование, почвенная съемка, районирование. Очевидно, что просмотр всех номеров журнала за 121 г. практически невозможен, и основным источником информации за первые 100 лет был библиографический справочник И.В. Иванова и Т.С. Луковской (Библиографический..., 1999); номера журнала за последние два десятилетия были просмотрены непосредственно. Дополнительная информация была взята из интернет-ресурсов: www.pochva.com; eLibrary.ru; <http://eurasian-soil-science>.

Объем журнальной статьи ограничивает возможность и определяет целесообразность приведения рассмотренных почвен-

но-картографических публикаций в списке литературы с соблюдением обычных правил, тем более что обзор охватывает продолжительный период. Было принято решение вносить в список литературы статьи оригинального или принципиально нового для своего времени содержания или обобщающие накопленный опыт, а для остальных ограничиться упоминанием авторов.

Представленность почвенно-картографических исследований на страницах журнала оценивалась путем подсчета количества статей по годам (и пятилетним интервалам) и по тематическим группам (рис. 1, табл. 1).

С известной долей условности были выделены группы статей аналитического и информационного характера о почвенных картах, о методах составления карт разных масштабов, их содержании и концепциях, приемах картографического оформления, о специализированных почвенных картах, в том числе прикладных, и оригинальных интерпретационных картах. Отдельно рассматриваются публикации по разным видам районирования, а также научно-организационным событиям.

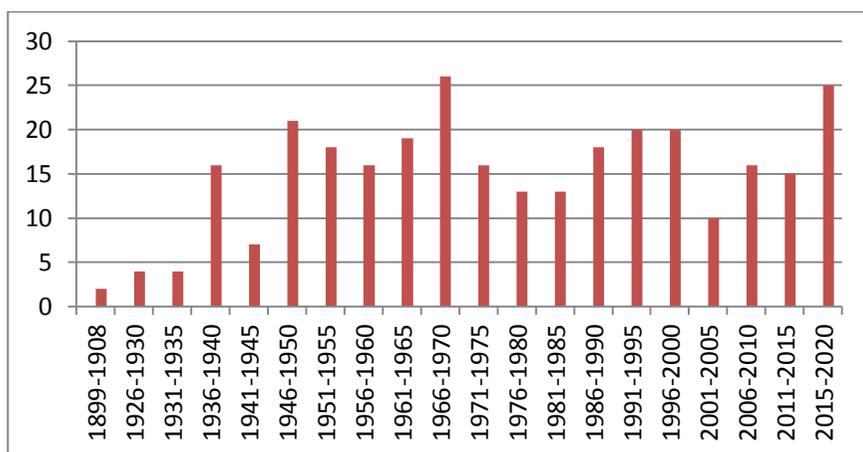


Рис. 1. Количество публикаций по почвенному картографированию за 1899–2020 гг. по пятилетним периодам.

Fig. 1. The number of publications on soil mapping for 1899–2020 by five-year periods.

Таблица 1. Тематические группы статей по почвенному картографированию, опубликованных в журнале “Почвоведение” за период 1899–2020

Table 1. Thematic groups of articles on soil mapping published in “Pochvovedenie” journal during the period 1899–2020

Направления картографирования и тематика статей		Количество статей за весь период
Почвенные карты: описания (информация) и анализ		54
Методология и методы почвенной картографии	общие вопросы, принципы, организация, методика составления карт	88
	дистанционные методы	19
	цифровая почвенная картография (ЦПК) и геоинформационные системы (ГИС)	12
	математическая статистика в картографии	4
	точность, детальность карт	5
	оформление карт	4
Прикладное почвенное картографирование	агрономическое и агрохимическое	15
	эрозионное	10
	мелиоративное	3
Использование почвенных карт		18
История почвенной картографии, вклад отдельных ученых		19
Почвенно-географическое и прикладные виды районирования		55
Рецензии		30
Хроника: совещания, конференции		29
Итого		365

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период с 1899 по 2020 гг. на страницах журнала опубликовано 310 статей по картографии почв и 55 статей по разным видам почвенного районирования. В первый же год существования журнала в третьем номере появилась первая картографическая публикация – “Схематическая почвенная карта Европейской России” Н.М. Сибирцева.

Динамика публикаций по картографии почв

Статьи по картографии почв выходили ежегодно, единственным исключением оказался 2003 г. Больше всего – 10 статей – приходится на 1950 г., что составляет около 10% от общего количества статей этого года; 9 статей было в 1937 (около 9%), по 7 статей – в 1973 и 1995 (около 3%) и в 2019 (5%) годах. В известной степени количество статей о картах отражает не только научные, но и общественно-политические события и явления.

Для оценки временного тренда в публикациях по почвенной картографии удобно обратиться к подсчетам по пятилетним периодам (рис. 1).

Первый трехкратный рост количества статей приходится на предвоенное пятилетие, и статьи в значительной мере отличаются практической направленностью. Обсуждалась необходимость составления почвенно-агрономических карт для повышения урожая, особенно для орошаемых земель и сортоучастков. Соответственно, излагалась методика крупномасштабной почвенной съемки, содержание инструкций для составления почвенных карт колхозов, притом уже в 1936 г. высказывались соображения о детальности и точности почвенных карт. Одновременно обсуждались проблемы обзорной почвенной картографии в связи с подготовкой почвенных карт для Большого Советского Атласа Мира (1937).

В первое послевоенное пятилетие¹ тематика почвенно-картографических статей резко изменилась. В центре внимания была Государственная почвенная карта СССР масштаба 1 :1 млн (ГПК). Практически это был период создания концепции карты, сохранившейся в своих основных положениях до наших дней. Инициатором и организатором работы по ГПК был И.П. Герасимов, бывший ее Главным редактором до 1985 г. В журнале излагалась Программа карты: сначала на уровне проекта, потом – результаты обсуждения и резолюция, принятие решения о ее создании на государственном уровне ([Герасимов, 1950](#)). Впоследствии в связи с секретностью карты публикаций о ней в журнале не было до 1997 г.

Максимум публикаций приходится на 1966–1970 гг., и он представлен двумя направлениями: разработка новых методов в крупномасштабном картографировании с использованием аэрофотоснимков и принципов создания почвенно-эрозионных карт. Другое направление отражает “приоткрытие железного занавеса” в эти годы в статьях, описывающих системы организации и методы картографирования почв в зарубежных странах. В последующие годы до 2015 г. число статей в журнале не обнаруживало резких колебаний, оставаясь примерно на одном уровне, в отличие от тренда значительного роста общего числа публикаций в журнале, отмечаемого И.В. Ивановым и Т.С. Луковской ([Библиографический..., 1999](#)).

Несколько большим количеством статей и разнообразием их тематики выделяются годы 1986–2000. На три последних десятилетия XX века пришлось несколько важных событий в областях почвоведения, связанных с почвенной картографией. Были опубликованы почвенные карты мира, отечественные (1975 и 1982 гг.) и международная, широко известная как карта ФАО (1971–1978 гг.), почвенные карты РСФСР (1988), РФ и сопредельных государств (1995); концепциям и содержанию этих карт, а также их

¹ Заметим, что в военные годы почвоведы активно участвовали в составлении карт для театра военных действий. Они опубликованы в атласе, изданном Российским Географическим Обществом к 75-летию Победы “Военно-географический альбом 1941–1945”, М.: Паулсен, 2020.

сравнительному анализу посвящено несколько аналитических и информационно-методических статей.

В 1970–90 годы создавались новые классификации почв: система ФАО и первые версии WRB (соответственно, в 1974/1988 и 1994/1998), американская Soil Taxonomy (1975/1999) и классификация почв России (1997). В результате в журнале появились статьи, в которых предлагались варианты перевода (точнее, корреляции) легенд мелкомасштабных отечественных карт в термины западных систем. Расширение международных контактов отражено в публикациях о почвенных картах ряда стран ([Геннадиев, Чернянский, 1999](#)), изредка в соавторстве с местными специалистами.

В области крупномасштабного картографирования заметным событием было реальное введение теории структуры почвенного покрова в содержание почвенных карт ([Андроников и др., 1993](#)). Продолжалось обсуждение традиционной методики почвенной съемки, в том числе с применением данных дистанционного зондирования; в частности, была опубликована статья главы Службы Почвенной съемки США Р. Арнольда о принципах почвенной съемки в США ([1999](#)).

Нетрадиционная методика почвенной съемки и составления карт “пластики рельефа” разрабатывалась в конце 1980-х годов И.Н. Степановым ([1988](#); [1990](#); [1995](#)) и в течение ряда лет подвергалась достаточно жесткой критике многими почвоведом и географами.

Наряду со статьями об обычных почвенных картах в журнале появились первые статьи о картах отдельных почвенных свойств, которые стали популярными в мире в конце XX и начале XXI веков. Одной из первых таких карт была карта минералогического состава почв Молдавии ([Алексеев, Родина, 1987](#)), позже – карты плотности, содержания и запасов гумуса в пахотных почвах России² ([Караваева, Герасимова, 1997](#)). Теоретическое обоснование содержания карт почвенных свойств и способов их составления содержится в статье Т.В. Ананко с соавторами ([1998](#)). Впер-

² По мнению Н.А. Караваевой, первой картой такого типа в мире была широко известная карта изогумусовых полос в приложении к “Русскому чернозему” В.В. Докучаева (1883).

вые в журнале появилось сообщение об “электронной почвенной карте”, это была карта Томской области ([Воробьев и др., 1996](#)).

В итоге на фоне увеличившегося в конце прошлого века разнообразия тематики статей отмечается рост круга объектов рассмотрения в статьях – почвенные карты мира и отдельных стран, а также появление новых направлений и объектов последующих исследований.

В новом тысячелетии количество статей сначала оставалось почти таким же; однако в период 2015–2020 гг. оно не только заметно выросло, но и существенно изменилось в отношении тематики. Одной из главных тем стала цифровая почвенная картография (ЦПК), представленная статьями по методологии, по описанию цифровых карт конкретных территорий, применению цифровых методов к изображению структур почвенного покрова ([Андроников и др., 1993](#); [Сорокина, Козлов, 2009](#)), а также к оценкам биологической продуктивности ([Рожков, Швиденко, 2010](#)), эрозии почв ([Ермолаев, 2017](#)), засолению ([Рухович и др., 2016](#); [Хитров, 2012](#)). Обоснование преимуществ цифровой почвенной картографии, по сравнению с традиционной “бумажной”, содержится в программной статье И.Ю. Савина с соавторами ([2019](#)), а И.В. Флоринский ([2012](#)) доказывает связь ЦПК с постулатами В.В. Докучаева о факторах почвообразования.

Освоение принципов и идеологии ЦПК оказалось стимулом для составления почвенных карт совершенно нового для российских почвоведов объекта картографирования – почвенного покрова городов (Волгоград, Пермь, Санкт-Петербург). В статьях излагаются особые подходы к этим необычным для традиционных карт объектам ([Апарин, Сухачева, 2014](#)). К интересным оригинальным направлениям почвенного картографирования, отмеченным в рассматриваемый период времени, относится “ретроспективный” – изучение карт землепользования отдельных территорий по архивным материалам для оценки современного почвенного покрова, а иногда и прогноза возможных его изменений ([Кукушкина и др., 2018](#)), а также по разновременным почвенным картам ([Рухович и др., 2016](#)).

В журнале было опубликовано несколько статей о педоразнообразии – количественной оценке сложности почвенного по-

крова территории, в том числе с учетом таксономического уровня почв – его компонентов, нового направления в конце прошлого – начале нового столетия.

Подводя итоги анализа динамики публикаций, можно в самом общем виде отметить следующую временную последовательность основных тем и трендов: крупномасштабные карты прикладного назначения – ГПК – крупномасштабное картографирование с применением аэрометодов – почвы зарубежных стран и мира в целом – карты почвенных свойств – ЦПК – почвенные карты городов и реконструкция почвенного покрова – педоразнообразие.

Распределение публикаций по разделам картографии почв

О почвенных картах

Центральное место среди публикаций по почвенной картографии занимают статьи собственно о почвенных картах разного масштаба и разных территорий: от карт мира до карт областей и хозяйств; всего было опубликовано 54 такие статьи. В статьях обсуждаются вопросы методики составления карт, используемые в легендах классификация и номенклатура, характеризуются почвы, оценивается изученность территорий и источники картографической информации. Самой первой была публикация 1899 г. “Схематическая почвенная карта Европейской России” Н.М. Сибирцева. Публикации о картах были достаточно регулярными (рис. 2) в течение всех лет; в ранние годы они преследовали определенную цель – информировать читателей о новой изданной карте, со временем больше внимания стало уделяться анализу концепции карты, отображения на карте закономерностей географии почв.

По почвенным картам мира в журнале опубликовано 6 статей; из них 3 статьи посвящены Почвенной карте ФАО, методам ее составления и легенде, созданной для нее классификации почв (Герасимов, Ковда, Розанов, Столбовой, Шеремет). М.А. Глазковской и В.М. Фридландом (1978) излагаются принципы, разработанные ими для составления почвенной карты мира с оригинальной матричной легендой в серии “Карты для Высшей школы” Министерства Высшего образования. Сравнительно-аналитичес-

кий характер имеют также статьи об обзорных картах мира и континентов, в которых много внимания уделено концептуальной основе карт и отражению ими законов географии почв в комплексных атласах (Караваяева, Герасимова, 1996; 2005).

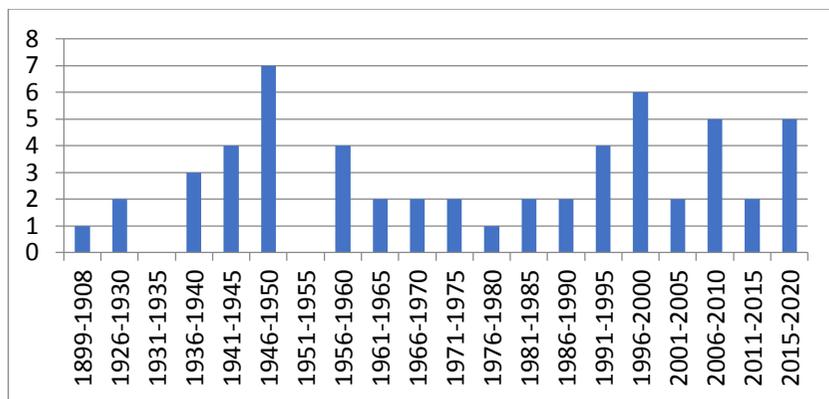


Рис. 2. Количество публикаций в группе “Почвенные карты” за 1899–2020 годы по пятилетним периодам.

Fig. 2. The number of publications in the “Soil Maps” group for 1899–2020 by five-year periods.

В значительной части статей сообщались сведения о почвенных картах отдельных стран (Китая, США, Польши, Италии, ГДР, Болгарии и др. – всего 13 статей) на основании знакомства авторов статей с доступными в те годы экземплярами карт. Позднее информационные статьи о картах зарубежных стран стали редкими, возможно, отчасти в связи с выходом в свет листов Почвенной карты Мира ФАО (1971–1978) и ее электронной версии (<http://www.fao.org>), так что фактическая информация о почвах отдельных стран стала представлять меньший интерес. Тем не менее недавно нами были опубликованы результаты проведенного анализа почвенного блока карт в национальных атласах 30 стран, составленных на разных принципах и с использованием разных классификаций (Герасимова, Богданова, 2015).

Почвенным картам СССР/России и отдельных регионов и республик посвящено 32 статьи. Информационный характер с

элементами географического анализа имеют самые ранние статьи этого типа – Л.И. Прасолова о первых картах Азиатской и Европейской частей СССР ([1926](#), [1937](#)) и некоторые последующие – о почвенных картах южных республик СССР ([Лобова, 1944](#), [1972](#); Соколов, 1949). К серии “Карты для Высшей школы” относится также почвенная карта “Российской Федерации и сопредельных государств” м-ба 1 : 4 млн с картой-врезкой “Антропогенно-измененные почвы”, охарактеризованная в статье авторов карты ([Герасимова и др., 1995](#)).

В статьях о картах отдельных регионов страны их почвенный покров описывается подробно, подчеркивается и анализируется почвенно-географическая специфика территорий. С конца прошлого века некоторые карты составляются на основе современных методов цифровой почвенной картографии; кроме упоминавшейся карты Томской области ([Воробьев и др., 1996](#)), это были карты Южного берега Крыма ([Сухачева, Ревина, 2020](#)), засоленных почв Хакасии ([Черноусенко и др., 2012](#)). Обсуждается методика составления карт на основе ГИС-технологий, структура баз данных, закономерности строения почвенного покрова.

Особое место занимают публикации по Государственной почвенной карте масштаба 1 : 1 млн. Как отмечалось выше, в первое послевоенное пятилетие именно эта карта была главной темой картографических публикаций (1946–1950 гг.). Дальнейшая судьба ГПК описана в статье К.А. Уфимцевой ([1997](#)). Высокий статус карты не помешал ее засекречиванию отчасти по причине ее высокой информативности, проявившейся в 1942–1944 гг. при составлении карт для фронта. Карта была рассекречена лишь в 1986 г., и публикаций непосредственно о ней не было до 1997 г., но многие методологические и картосоставительские вопросы обсуждались именно на примере ГПК. Более того, разработанные в процессе ее создания правила построения легенд и способы изображения использовались в качестве стандартов почти на всех отечественных картах. В последнем десятилетии, в соответствии с общим трендом цифровизации, в публикациях высказывались предложения об обновлении карты и ее переводе в цифровой формат ([Рухович и др., 2013](#); [Симакова и др., 2012](#)).

Второй важнейшей мелкомасштабной почвенной картой

всей страны была карта РСФСР, изданная в 1988 г. Почвенным институтом им. В.В. Докучаева под редакцией В.М. Фридланда. После публикации карты вышла статья в журнале о ее содержании и географических закономерностях ([Андроников, Руднева, 1993](#)), а также об отражении на карте гранулометрического состава и почвообразующих пород ([Симакова, Овечкин, 2007](#)). В 2010-е годы началось обсуждение методов обновления карты, перевода ее содержания в цифровой формат. В дополнение к уточнению контурной части предлагается перевод названий почв в систему новой классификации почв России ([Ананко и др., 2017](#)).

Методология и методы составления карт

Самая большая группа статей, условно отнесенных к методическим, неоднородна по тематике и включает 88 статей различного содержания. Первая статья – “К методике почвенной картографии” была опубликована Г.Ф. Нефедовым в 1908 г. В ранних публикациях обсуждалось содержание почвенных карт ([Прасолов, 1935](#); [Садовников, 1952](#)), которое тогда формировалось, в том числе в связи с разработкой программы ГПК, и общие методические вопросы (Ильина, 1980).

Больше всего статей посвящено методологии крупномасштабной (и детальной) почвенной съемки, особенно в 30–60 гг.: Канивец, Гаврилюк, Фатус, Иванова с соавт., Карлов, Герасимов с соавт., Чайанов, Халлик, Андроников, Ногина, Найдин, Михайлов, Роома, Рейнтам, Пейве с соавт., Новак, Пустовойтов, Шилина, Кузнецов, Калнина, Симакова, Кальван, Крупеников, Годельман, Годельман, Арнольд, Гедымин, Сорокина, Симакова, Шапиро, Дубровина, Тонконогов, Хитров, Шаповалов с соавт.

Составление среднемасштабных карт относительно мало обсуждается в журнале (Столярова, Симакова, Хабаров с соавт.; [Савин, Овечкин, 2014](#); [Жоголев, Савин, 2016](#)). Статей о методике составления мелкомасштабных карт еще меньше: Ярков, Кравцова, Долгова.

Один из способов составления почвенных карт вызвал бурную дискуссию в журнале в 1980–90-е годы. Им был метод “пластики рельефа”, предложенный И.Н. Степановым ([1988](#), [1990](#), [1995](#)), как адекватно отражающий детали почвенного покрова, с

чем не согласились многие почвоведы; критический анализ метода содержится в статьях А.В. Гедымина и Н.П. Сорокиной (1988), Е.В. Лобовой (1988), М.С. Симаковой (1988), Е.А. Дмитриева (1998), Н.И. Волковой и В.К. Жучковой (2000).

Задачам организации почвенно-картографических работ посвящены статьи, “сконцентрировавшиеся” в очень узкий период времени (Глазовская, Стржемски, Бартошевски, Либерот, Нарских).

В конце 20 – начале 21 века тематика методологических статей, помимо общих подходов и проблем (Деева, Керженцев, 1998; Добровольский, 1989; Руднева, 1990; Савин и др., 2019), касалась картографирования с показом структур почвенного покрова (Андроников и др., 1993; Сорокина, 2000), составления почвенно-экологической карты (Розов, Руднева, 1985), агроэкологической типизации земель (Сорокина, 1993), оценки антропогенных воздействий на почву (Лотов, 1994), а также корректировки и обновления мелкомасштабных почвенных карт по новым материалам и в идеологии новой классификации почв России (Ананко и др., 2017; Дубровина, Тонконогов, 2008; Савин, Овечкин, 2014).

Если перечисленные методологические направления ориентированы на создание карт, отражающих состояние почвенного покрова, то параллельное ему направление имеет общее почвоохранное назначение, с одной стороны, и прогнозное, с другой. Первое представлено статьями групп авторов о картографировании рационального использования и охраны почвенного покрова (Добровольский и др., 1994), деградации почв (Герасимова и др., 2000; Сорокина и др., 2013). Прогнозное направление связано с идеей “педотрансферных функций почв” (“translating data that we have into what we need”, Bouma, 1989), реализуемой на картах путем интерпретации картографических единиц с позиций обеспечения почвами возможностей миграции или аккумуляции химических элементов и соединений, а также устойчивости/уязвимости почв к определенным антропогенным воздействиям (Глазовская, 1992). Методике создания оценочно-прогнозных карт устойчивости почв к загрязнению конкретными соединениями посвящены статьи Н.П. Кремленковой (1995) и А.Н. Геннадиева, Ю.И. Пиковского (2007). К подобным публикациям относится также статья

авторов о серии карт, производных от почвенной, во втором издании Экологического атласа России 2017 г. (2019).

Прикладное почвенное картографирование

Составлению собственно *прикладных карт* посвящено всего 28 статей за все время существования журнала, и они появлялись нерегулярно. Основной массив статей пришелся на довоенный период и на 60–70 годы. В них рассматриваются 3 прикладные направления: агрономическое (включая агрохимическое) (15 статей), эрозионное (10 статей) и мелиоративное (3 статьи).

Первая статья (Панков), опубликованная в 1934 г., была посвящена картографированию эрозии почв; в разные годы печатались статьи, доказывающие преимущества разных методов оценки эродированных почв, соответственно, разных почвенно-эрозионных карт ([Власюк, 1953](#); [Заславский, 1969, 1977](#); [Лидов, 1975](#); [Романова и др., 1969](#); [Сурмач, 1954](#)). Недавно была опубликована статья о современном методе картографирования ручейковой эрозии на пахотных почвах с помощью беспилотных летательных аппаратов ([Каштанов и др., 2018](#)). Сельскохозяйственное почвенное картографирование, преимущественно агрономическое и агрохимическое, на уровне общих проблем и состояния в тот или иной период обсуждается в статьях (Виленский, Белоножко, Понагайбо, Важенин с соавт., Найдин, Михайлов, Пейве с соавт.). Статей по почвенно-мелиоративному картографированию в журнале мало (Качинский, Козловский, Королюк). В 2004 г. была опубликована статья Ф.Р. Зайдельмана с соавторами ([2004](#)) о новом типе карт для обоснования систем земледелия и мелиорации почв. Главным принципом составления прикладных карт является сочетание сведений о природных условиях агроландшафтов и технологических мероприятиях, направленных на оптимизацию земледелия и мелиорации почв, определяющее дифференциацию картографических единиц.

Дистанционным методам посвящено 19 статей, в первую очередь, это возможности исследования почвенного пространства аэрофотометодами, дешифрированием космических снимков, а в последние годы – и БПЛА. Первая статья была опубликована в журнале в 1930 г. на английском языке – А.И. Левенгаупт “Опыт

применения фотопланшетов для почвенной съемки”.

Наибольшее количество статей приходится на 60–70-е годы, когда дистанционные методы активно разрабатывались и внедрялись в практику почвенно-картографических работ: создавалась методика их применения для различных территорий как для подготовительных этапов съемки, собственно составительских работ по картографированию, так и для корректировки карт (Калнина, Симакова, Андроников, Семенова, Можаяева). Описан выбор и расчет параметров для ключевых участков в предполетный период на основе аэрофотоматериалов (Калнина, Непомнящий). Предложена методика использования аэрофотоматериалов для почвенного картографирования заболоченных территорий на примере Восточнославянской низменности (Квиткович с соавт.), совершенствовалась методика дешифрирования (Симакова), разрабатывались приемы тематической интерпретации результатов дешифрирования (Андреев с соавт.). Описаны принципы индикации и картографирования почвообразующих пород таежных ландшафтов Западной Сибири (Константинов).

В обзорной статье М.С. Симаковой и И.Ю. Савина ([1998](#)) подведены итоги длительного использования аэрофото- и космических снимков при составлении почвенных карт по природным зонам, проанализированы проблемы и определены новые возможности. С 2001 г. появляются статьи о новом этапе использования материалов дистанционного зондирования в картографических работах, применении автоматизированной обработки материалов, тематической интерпретации результатов ([Куляница и др., 2020](#); [Рухович и др. 2015, 2016](#)).

Статьи по *цифровой почвенной картографии (ЦПК) и ГИС-технологиям* начали публиковаться на страницах журнала с 2002 г.; первой была статья М.С. Симаковой – “О компьютерной картографии почв”. Всего по этому направлению опубликовано 12 статей общего методологического содержания и практического применения этих методов для составления и обновления почвенных карт разного масштаба и содержания. В программной статье И.Ю. Савина с соавт. ([2019](#)) о современном состоянии и трендах почвенной картографии подчеркивается ведущая роль ЦПК, базирующаяся на идеях В.В. Докучаева о связи почв с факторами поч-

вообразования, а также на достижениях математической статистики и математического моделирования.

В статье Н.П. Сорокиной и Д.Н. Козлова (2009) рассматриваются методические проблемы крупномасштабного цифрового картографирования структур почвенного покрова. Анализируются методы обновления среднемасштабных почвенных карт на основе современных спутниковых ГИС-технологий (Жоголев, Савин, 2016; Савин, Овечкин, 2014). Обсуждаются методы цифровой крупномасштабной почвенной картографии на примере конкретных территорий (Кириллова и др., 2014; Пастухов и др., 2016).

Несколько статей посвящено задачам, методике и проблемам модернизации листов ГПК и карты РСФСР 1988 г. на основе методов цифровой картографии (Королюк, Овечкин, 2010; Рухович и др., 2013; Симакова и др., 2012), а также при создании ГИС “Почвы России” (Рухович и др., 2011).

В журнале опубликовано некоторое количество статей по более конкретным вопросам составления карт, например, *математическим методам* (Виноградов и др., 1999; Дмитриев, 1968; Шеремет, 1985).

Есть несколько методических узкоспециализированных статей, посвященных точности карт и принципам их оформления. Всего пять статей приходится на категорию “*Точность, детальность карт*” (Десебенсанов, Маслов, Платоненко, Годельман с соавт., Филиппов, Чертов), *оформлению* посвящено четыре статьи: о цветовой шкале почвенных карт и условным обозначениям (Соколов, Розов, Герасимов, Петров, Марусова). В эти годы разрабатывались принципы оформления почвенных карт, главным образом при создании листов ГПК, в дальнейшем они настолько вошли в практику традиционной почвенной картографии, что пропала необходимость их обсуждения.

Почвенные карты как источник информации

В условный раздел по использованию сведений, имеющихся на почвенных картах, включено 17 статей, представляющих как традиционные области применения карт, так и новые, в том числе касающиеся почвенно-генетических и почвенно-географических закономерностей. Первая статья М.Н. Малышкина вышла в 1956 г.

“О лучшем использовании почвенных карт в МТС и колхозах”. Статьи 50–70 гг. посвящены использованию почвенных карт для прикладных сельскохозяйственных целей, например, статья В.Л. Андроникова и В.К. Михновского ([1959](#)) об использовании почвенных карт в сельскохозяйственном производстве, статья Ю.В. Федорина ([1978](#)) об изучении и картографировании почв в связи с введением земельного кадастра в СССР.

Примером использования почвенных карт в обсуждении генезиса почв служит статья Н.Я. Марголиной и Б.А. Ильичева, посвященная географии коричневых почв по материалам картографического исследования. Анализ почвенно-климатических связей на основе данных по климату, растительности и Почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн на примере южной части бореального пояса Сибири представлен в статье Н.И. Белоусовой с соавторами.

Оценивалось антропогенное воздействие на почвы с использованием крупномасштабного картографирования территории Верхнеокского бассейна (Ананьева с соавт., 1994). По картографическим материалам Н.П. Сорокиной с коллегами ([2013](#)) даны оценки постагрогенной трансформации дерново-подзолистых почв. Ретроспективный мониторинг состояния земель и почвенного покрова на основе серии почвенных карт был предложен группой Д.И. Руховича ([2015](#)) на примере Азовского р-на Ростовской области.

Засоленные почвы были важным объектом картографического анализа. Картографическому анализу зависимости распространения засоленных почв на территории России от ряда климатических характеристик посвящена статья Н.В. Калининой с соавторами ([2016](#)). В статье Н.Б. Хитрова с соавторами ([2012](#)) излагаются методы и результаты оценки площадей засоленных почв европейской России по электронной версии карты засоления почв масштаба 1 : 2.5 млн. Для мониторинга состояния почвенного покрова и динамики засоления почв использовались разновременные почвенные карты ([Рухович и др., 2016](#)).

Относительно новым направлением почвенной картографии является условно количественная оценка сложности строения и состава почвенного покрова тех или иных территорий, рассчиты-

ваемая по почвенным картам с целью представления “педоразнообразия” территории. Этому посвящены статьи В.П. Самсоновой с соавт. (2019) по почвам трех ключевых участков Брянской области, М.А. Смирновой и А.Н. Геннадиева (2019) по оценке педоразнообразия почв Арктики и Субарктики и статья П.В. Красильникова с коллегами (2020) о сравнении результатов оценки педоразнообразия трех контрастных в природном отношении регионов (Карелия, Московская область и Дагестан), проведенной по почвенным картам трех масштабных уровней с легендами в форматах отечественных и международной классификаций.

История, развитие почвенной картографии, вклад отдельных ученых

По этой группе опубликовано 19 статей. Первая статья Л.И. Прасолова появилась в 1937 г., в ней анализируется двадцатилетний период развития географии и картографии почв в СССР. Развитие географии и картографии почв в России в додокучаевский период анализируется в статьях С.С. Соболева и И.Ф. Садовникова. В статьях прошлого века рассматриваются не только этапы развития мелкомасштабной почвенной картографии в СССР (Герасимов, Розов), но и показано значительное влияние советской почвенно-картографической школы на развитие мировой картографии почв (Виленский, Лобова, Обухова).

Эволюции генетико-географических идей в классификации и картографии почв посвящена аналитическая статья И.И. Лебедевой и В.Д. Тонконогова (2002). В ней проанализирована 75-летняя история географической и картографической школы Почвенного института, отражение эволюции идей и взглядов на географию почв страны на мелкомасштабных картах, рассмотрены перспективы создания “новой ГПК” на основе листов существующей ГПК, новой классификации почв, современных материалов и возможностей цифровой картографии.

В ряде статей отмечена роль и вклад отдельных ученых в развитие почвенной картографии: это статьи о Л.И. Прасолове, Н.М. Сибирцеве, И.В. Тюрине.

Публикации по районированию

Создание схем районирования природных и антропогенно-природных объектов характерно для научных интересов географов и почвоведов СССР и России; оно может объясняться как стремлением к упорядочиванию, поиску закономерностей, так и разнообразием природных условий и почв, что особенно благоприятно для процесса выявления индивидуальности ареалов. Всего за 121 год на страницах журнала опубликовано 55 статей по разным видам почвенного районирования, они были сгруппированы по тематике следующим образом (табл. 2; рис. 3).

Таблица 2. Тематические группы статей по почвенному районированию, опубликованных в журнале “Почвоведение” за период 1899–2020 гг.

Table 2. Thematic groups of articles on soil zoning published in “Pochvovedenie” journal during the period 1899–2020

Виды районирования	Количество статей за весь период
Общее почвенно-географическое (включая почвенно-экологическое)	24
сельскохозяйственное	10
мелиоративное	12
эрозионное	1
почвенно-геохимическое	3
почвенно-климатическое	1
биогеохимическое	1
почвенно-технологическое	2
почвенно-лесоводственное	1
Итого	55

Первая статья Б.Ф. Петрова по почвенным районам южной части Красноярского края появилась в 1940 г. В дальнейшем статьи по районированию появлялись в журнале регулярно, примерно по 1–2 статьи каждые пять лет. Больше всего статей было опубликовано в годы 1951–1965, когда в Почвенном институте шло широкое обсуждение вопросов базового почвенного районирования в целях подготовки единой системы для всей страны. В 1980-е годы издание факультетом Почвоведения МГУ учебника и карты поч-

венно-географического районирования (1984 и 1983 гг.), вероятно, объясняет второй, меньший максимум публикаций, в которых излагаются общие принципы районирования, их приложение к отдельным регионам, часто с описаниями выделенных в регионах единиц районирования.

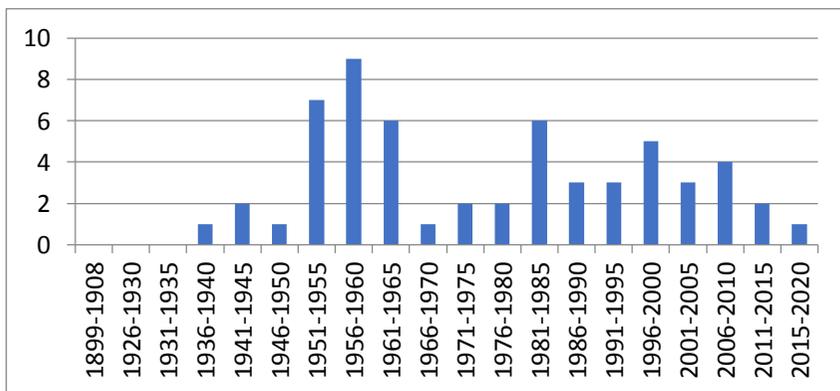


Рис. 3. Количество публикаций по почвенному районированию за 1899–2021 годы по пятилетним периодам.

Fig. 3. The number of publications on soil zoning for 1899–2021 by five-year periods.

Современное состояние, задачи и перспективы, новые аспекты почвенного районирования рассмотрены в статьях Г.В. Добровольского (1985) и И.С. Урусевской с соавт. (2015).

Отдельно обсуждается опыт почвенно-географического районирования горных систем: регионально-типологического В.М. Фридландом (1951) и типологического И.С. Урусевской (2007).

Почвенно-географическое районирование послужило основой для различных прикладных видов районирования. К почвенной информации добавлялись соответствующие показатели обычно в тех же границах или с проведением генерализации. Выбор показателей основывался на учете требований сельскохозяйственных культур и/или агроклиматических параметрах, на расчетах эрозийной опасности или доли смытых почв в составе почвенно-

го покрова и другой целенаправленной информации. Среди прикладных направлений преобладает сельскохозяйственное и мелиоративное для всей страны и для отдельных регионов.

По сельскохозяйственному (агропочвенному) направлению много статей выходило в 50–60 годы, после длительного перерыва – в 2000-е годы (Магницкий, Рыжов, Сучков, Розов, Горшенин). Основные принципы, опыт и пути совершенствования этого вида районирования рассмотрены в работах Зайдельмана, Болатбековой, Симаковой. Статьи по мелиоративному районированию регулярно публиковались в журнале с 50-х по 90-е годы (Розанов с соавт., Самбур, Сюн, Соколовский, Зайдельман, Егоров с соавт., Буяновский, Грабовский, Розов с соавт.). Начиная с 80-х годов, на страницах журнала появляются статьи по другим прикладным направлениям: почвенно-геохимическому (Даутов с соавт., Протасова), биогеохимическому (Протасова с соавт.), почвенно-климатическому (Элизбарашвили с соавт.), почвенно-технологическому (Медведев).

Более половины статей по районированию носят достаточно конкретный характер в отношении принципов составления карт районирования определенной территории; нередко приводятся общие описания почвенного покрова и картографических единиц, легенды и иногда схематические карты, предлагаются пути практического использования предложенных схем районирования. Территориальный охват и масштаб объектов в статьях очень широк: Красноярский край, Северная Осетия, Куро-Араксинская низменность, Ростовская область, Ногайские степи, Брянская область, Днестровские плавни, НЧЗ, Волго-Ахтубинская пойма, дельта Волги, Опочецкий р-н, Прикаспийская низменность, Казхстан, Калининградская область, Чувашия, Северный Кавказ, Воронежская область, Башкирия, Владимирское ополье, Грузия, Иркутская область, Томская область, Китай, Монголия.

Хроника и рецензии

Хроника научной жизни включает информацию о различных международных и всесоюзных/всероссийских конгрессах, совещаниях, симпозиумах, семинарах, рабочих заседаниях, резолюции комиссий по вопросам почвенного картографирования (в

частности, больше всего таких сообщений по ГПК и почвенной крупномасштабной съемке) и почвенного районирования. Всего информационных сообщений, где были представлены проблемы картографии почв, было опубликовано за весь период 29 (рис. 4). Первая подобная информация, имевшая большой резонанс в стране, появилась в журнале в 1928 г.: сообщение Л.И. Прасолова “Картография почв на I Международном конгрессе в Вашингтоне”.

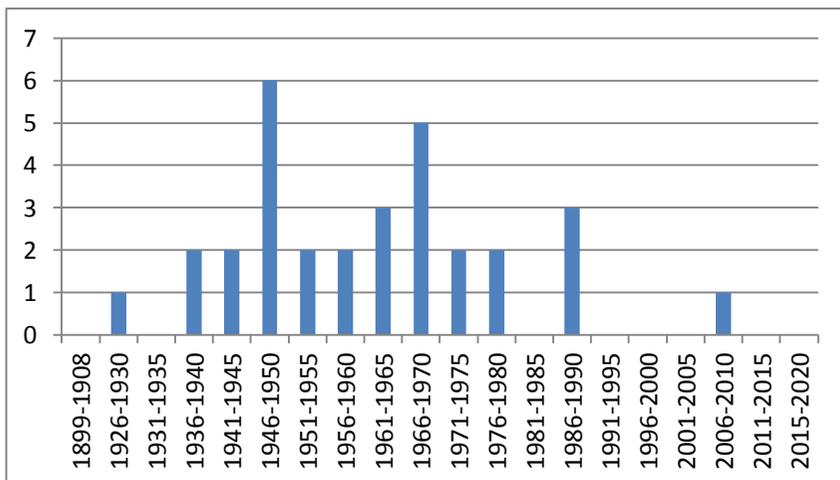


Рис. 4. Публикации по совещаниям, конференциям и прочим событиям научной жизни.

Fig. 4. Publications on meetings, conferences and other events in scientific life.

Проведенный ретроспективный анализ хроники научной жизни в целом соответствует рассмотренной выше динамике и трендам. Начиная со второго десятилетия 21 века, разделы хроники и рецензий в журнале были упразднены. Последнее сообщение о конференции посвящено актуальной теме: современному состоянию и перспективам развития ЦПК (Козлов, Конюшкова, 2009).

За 110 лет на страницах журнала опубликовано 30 рецензий на книги, статьи, посвященные вопросам картографирования и

районирования, а также на конкретные карты. Первая рецензия П.Н. Федянцева на статью, посвященную детальности и точности почвенных карт была опубликована в 1937 г.; последней – в 2011 г. – была рецензия М.С. Симаковой на учебное пособие по мелко-масштабному почвенному картографированию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ публикаций по картографии почв в журнале “Почвоведение” за длительный срок, практически с первых почвенных карт начала прошлого века и до наших дней, показывает не только динамику развития картографии во времени, но и разнообразие тем, объектов, методов.

В статьях охарактеризованы главные направления, сложившиеся в почвенном картографировании: организация картографических работ – методика – содержание карт – их использование; масштабный ряд: от обзорного до детального; широкий территориальный охват. Начиная с послевоенных лет общее количество публикаций распределялось по годам относительно равномерно, а небольшие максимумы отражали появление новых событий или идей в географии, классификации почв и методологии картографирования.

Существенную долю публикаций составляют аналитические описания базовых почвенных карт: рассматриваются почвенно-географические закономерности, принципы составления легенд, обеспеченность информацией, иногда даются рекомендации по использованию почв. Особенностью этой области почвенного картографирования является внимание к мировым почвенным картам и ГПК на ранних этапах ее создания, с одной стороны, и к крупномасштабным картам практически постоянно, с другой стороны.

К новым трендам в почвенной картографии конца прошлого века можно отнести создание интерпретационных карт, оценочных и прогнозных. В то же время показано, что почвенные карты крупного масштаба широко использовались для разработки специальных карт – агрохимических, мелиоративных, а в последние годы на основе базовых почвенных карт проводились работы по количественным оценкам педоразнообразия.

Базовые карты служили также основой создания карт раз-

ных видов почвенного районирования, что обычно освещалось в статьях по мере публикации этих карт. В конце прошлого – начале нового века в журнале появились статьи по темам актуальным и в настоящее время: проблемы картографирования антропогенно-измененных почв, в первую очередь почв городов, и методы и опыт создания цифровых почвенных карт.

Существовавшие до 2010-х годов разделы “Хроника” и “Рецензии” дополняли информацию об особенностях разных этапов развития и направлений почвенной картографии.

Обзор публикаций в журнале “Почвоведение” можно рассматривать как подведение итогов “классической” почвенной картографии и прослеживание первых шагов в формировании новых подходов и идей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.Е., Родина А.К.* Опыт составления карт минералогического состава почв // Почвоведение. 1987. № 8. С. 112–119.
2. *Ананко Т.В., Герасимова М.И., Конюшков Д.Е.* Опыт обновления почвенной карты РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн в системе классификации почв России // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1411–1420.
3. *Ананко Т.В., Соколов И.А., Конюшков Д.Е., Градусов Б.П.* Система почвенных карт: опыт применения принципов поликомпонентной базовой классификации // Почвоведение. 1998. № 5. С. 620–631.
4. *Андроников В.Л., Михновский В.К.* Использование крупномасштабных почвенных карт в сельскохозяйственном производстве // Почвоведение. 1959. № 12. С. 24–35.
5. *Андроников В.Л., Ананко Т.В., Михайлова Р.П., Симакова М.С., Шубина И.Г.* Отражение структуры почвенного покрова на почвенных картах // Почвоведение. 1993. № 7. С. 76–82.
6. *Андроников В.Л., Руднева Е.Н.* Почвенно-географические закономерности и принципы отображения почвенного покрова на почвенной карте Российской Федерации // Почвоведение. 1993. № 10. С. 19–27.
7. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.* Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–802.
8. *Арнольд Р.В.* Детальная почвенная съемка в США // Почвоведение. 1990. № 2. С. 21–29.

9. Библиографический справочник: Материалы, опубликованные в журнале “Почвоведение” за 100 лет. М.: Наука, 1999. 670 с.
10. *Виноградов Б.В., Кулик К.Н., Сорокин А.Д., Федотов П.Б.* Изодинамическое картографирование и долговременный мониторинг опустынивания и деградации земель с применением нелинейных методов моделирования // Почвоведение. 1999. № 4. С. 494–504.
11. *Власюк И.А.* К вопросу картирования эродированных почв // Почвоведение. 1953. № 10. С. 68–73.
12. *Волкова В.И., Жучкова В.К.* Критический анализ использования метода “морфоизографического каркаса” в почвенном картографировании // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1173–1186.
13. *Воробьев С.Н., Изерская Л.А., Рюмкин А.И., Добрынина Н.В.* Электронная почвенная карта Томской области // Почвоведение. 1996. № 7. С. 830–832.
14. *Гедымин А.В., Сорокина Н.П.* О методе “пластики рельефа” // Почвоведение. 1988. № 6. С. 110–120.
15. *Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И.* Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами // Почвоведение. 2007. № 1. С. 80–92.
16. *Геннадиев А.Н., Чернянский С.С.* Почвы зарубежных стран в журнале “Почвоведение” (1899–1999) // Почвоведение. 1999. № 1. С. 23–29.
17. *Герасимов И.П.* Государственная почвенная карта СССР и современные задачи советской картографии почв // Почвоведение. 1950. № 4. С. 195–206.
18. *Герасимов И.П., Розов Н.Н.* Основные этапы развития обзорной (мелкомасштабной) почвенной картографии в СССР // Почвоведение. 1939. № 7. С. 53–61.
19. *Герасимова М.И., Караваева Н.А., Таргульян В.О.* Деградация почв: методология и возможности картографирования // Почвоведение. 2000. № 3. С. 358–365.
20. *Герасимова М.И., Гаврилова И.П., Глазовская М.А.* Обзорная почвенная карта России и сопредельных государств: новый уровень обобщения // Почвоведение. 1995. № 10. С. 1233–1238.
21. *Герасимова М.И., Богданова М.Д.* Почвы в национальных атласах разных стран // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1036–1048.
22. *Герасимова М.И., Богданова М.Д.* Почвенные карты в новом Экологическом атласе России // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1454–1470.
23. *Глазовская М.А.* Почвенно-геохимическое картографирование для оценки экологической устойчивости почв // Почвоведение. 1992. № 6. С. 5–14.

24. Глазовская М.А., Фридланд В.М. Принципы составления почвенной карты мира для высших учебных заведений // Почвоведение. 1978. № 3. С. 5–17.
25. Деева Н.Ф., Керженцев А.С. Методические проблемы почвенно-экологического картографирования // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1112–1118.
26. Дмитриев Е.А. Об использовании корреляционного анализа при работе с картами // Почвоведение. 1968. № 4. С. 44–54.
27. Дмитриев Е.А. Концепция пластики рельефа и почвоведение // Почвоведение. 1998. № 3. С. 370–381.
28. Добровольский Г.В. Почвенно-географическое районирование как одно из важных направлений географии почв // Почвоведение. 1985. № 11. С. 14–21.
29. Добровольский Г.В. География и картография почв – фундаментальные и прикладные аспекты // Почвоведение. 1989. № 10. С. 20–26.
30. Добровольский Г.В., Урусевская И.С., Дорофеева Е.И. Принципы составления карты рационального использования и охраны почвенного покрова Нечерноземной зоны РФ // Почвоведение. 1994. № 1. С. 13–23.
31. Дубровина И.А., Тонконогов В.Д. Корректировка содержания крупномасштабной почвенной карты с использованием новой классификации почв России // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1297–1313.
32. Ермолаев О.П. Геоинформационное картографирование эрозии почв в регионе Среднего Поволжья // Почвоведение. 2017. № 1. С. 130–144.
33. Жоголев А.В., Савин И.Ю. Автоматизированное обновление среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1319–1327.
34. Зайдельман Ф.Р., Болатбекова К.С. Принципы и опыт агроландшафтного районирования для обоснования земледелия и мелиорации почв (на примере Нечерноземной зоны России) // Почвоведение. 1997. № 3. С. 368–375.
35. Зайдельман Ф.Р., Ковалев Н.Г., Чумичева Г.Д., Никифорова А.А., Болатбекова К.С., Карманов И.И., Булгаков Д.С. Принципы и опыт составления агроландшафтных экологических почвенно-мелиоративных карт // Почвоведение. 2004. № 6. С. 719–730.
36. Заславский М.Н. Некоторые вопросы почвенно-эрозионного картирования // Почвоведение. 1969. № 10. С. 95–104.
37. Заславский М.Н. Методические вопросы оценки и картографирования эрозионно-опасных земель // Почвоведение. 1977. № 6. С. 85–98.

38. *Иванов И.В., Луковская Т.С.* Наукометрический анализ публикаций журнала “Почвоведение” за сто лет (1899–1999) // Почвоведение. 2003. № 1. С. 113–125.
39. *Калинина Н.В., Рухович Д.И., Панкова Е.И., Черноусенко Г.И., Королева П.В.* Картографический анализ зависимости распространения засоленных почв на территории России от ряда климатических характеристик // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1287–1304.
40. *Караваева Н.А., Герасимова М.И.* Новые почвенные карты континентов в масштабе 1 : 25 млн и развитие обзорного почвенного картографирования // Почвоведение. 1996. № 1. С. 54–63.
41. *Караваева Н.А., Герасимова М.И.* Карта “Агрогенные изменения запасов гумуса и уплотнение почв” масштаба 1 : 20 млн // Почвоведение. 1997. № 3. С. 301–309.
42. *Караваева Н.А., Герасимова М.И.* Мировые почвенные карты: время И.П. Герасимова и современное состояние // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1469–1476.
43. *Каиштанов А.Н., Вернюк Ю.И., Савин И.Ю., Щепотьев В.В., Докукин П.А., Шарычев Д.В., Ли К.А.* Картографирование ручейковой эрозии пахотных почв по данным с беспилотных летательных аппаратов // Почвоведение. 2018. № 4. С. 506–512.
44. *Кириллова Н.П., Силева Т.М., Ульянова Т.Ю., Савин И.Ю.* Метод “совпадений” и его применение для построения цифровой крупномасштабной почвенной карты // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1193–1203.
45. *Козлов Д.Н., Конюшкова М.В.* Современное состояние и перспективы развития цифровой почвенной картографии (по материалам международного совещания, г. Логан, США, 2008 г.) // Почвоведение. 2009. № 6. С. 750–753.
46. *Королюк Т.В., Овечкин С.В.* Подходы к модернизации Государственной почвенной карты России на основе методов цифровой картографии // Почвоведение. 2010. № 5. С. 527–537.
47. *Красильников П.В., Герасимова М.И., Голованов Д.Л., Головлева Ю.А., Конюшкова М.В., Сидорова В.А., Сорокин А.С.* Разнообразие и пространственная организация почвенного покрова в разных картографических масштабах // Почвоведение. 2020. № 8. С. 913–920.
48. *Кремленкова Н.П.* Опыт составления прогнозных карт опасности фторидного загрязнения почв (на примере Московской области) // Почвоведение. 1995. № 9. С. 1166–1172.
49. *Кукушкина О.В., Алябина И.О., Голубинский А.А.* Опыт реконструкции земледельческого использования почвенного покрова Балахнинского

уезда Нижегородской губернии в XVIII–XIX веках по картографическим источникам // Почвоведение. 2018. № 7. С. 882–892.

50. Куляница А.Л., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В. Анализ информативности методов обработки больших спутниковых данных систем точного земледелия при коррекции крупномасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1460–1477.

51. Лебедева И.И., Тонконогов В.Д. Эволюция генетико-географических идей в классификации и картографии почв // Почвоведение. 2002. № 7. С. 789–796.

52. Лидов В.П., Орлова В.К. О методике почвенно-эрозионного картирования // Почвоведение. 1975. № 7. С. 120–125.

53. Лобова Е.В. Карта систем почвенного покрова Туркменистана. Рецензия // Почвоведение. 1988. № 6. С. 128–129.

54. Лотов Р.А. Принципы картографического отображения сельскохозяйственной нагруженности почв // Почвоведение. 1994. № 7. С. 98–107.

55. Пастухов А.В., Каверин Д.А., Щанов В.М. Построение региональных цифровых тематических карт (на примере карты запасов углерода в почвах бассейна р. Уса) // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1042–1051.

56. Прасолов Л.И. К вопросу о содержании почвенных карт малого масштаба // Почвоведение. 1935. № 4. С. 474–480.

57. Рожков В.А., Швиденко А.З. Первые цифровые карты показателей биологической продуктивности // Почвоведение. 2010. № 11. С. 1296–1304.

58. Розов Н.Н., Руднева Е.Н. Опыт составления почвенно-экологической карты // Почвоведение. 1985. № 11. С. 22–27.

59. Романова Т.А., Найдено Г.И., Матейчук С.Е., Засим А.В. Опыт картирования эродированных земель в западной части БССР // Почвоведение. 1969. № 12. С. 127–133.

60. Руднева Е.Н. Проблемы почвенной картографии в трудах Е.Н. Ивановой и принципы отображения на картах почвенного покрова // Почвоведение. 1990. № 1. С. 48–57.

61. Рухович Д.И., Вагнер В.Б., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Королева П.В. Проблемы использования цифровых тематических карт на территорию СССР при создании ГИС “Почвы России” // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1043–1055.

62. Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Симаклова М.С., Долина Е.А., Рухович С.В. Государственная почвенная карта – версия ARC/INFO // Почвоведение. 2013. № 3. С. 251–266.

63. *Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжжев А.В., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В.* Анализ применения почвенных карт в системе ретроспективного мониторинга состояния земель и почвенного покрова // Почвоведение. 2015. № 5. С. 605–625.
64. *Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжжев А.В., Королева П.В., Калинина Н.В., Черноусенко Г.И., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В.* Методология сравнения разновременных почвенных карт в целях выявления и описания динамики почвенного покрова на примере мониторинга засоления почв // Почвоведение. 2016. № 2. 164–181.
65. *Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю.* Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. 2019. № 5. С. 517–528.
66. *Савин И.Ю., Овечкин С.В.* Об обновлении среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1184–1193.
67. *Садовников И.Ф.* О содержании почвенных карт // Почвоведение. 1952. № 11. С. 1033–1038.
68. *Самсонова В.П., Кротов Д.Г., Воронин В.А.* Разнообразие почв на почвенных картах районного уровня // Почвоведение. 2019. № 6. С. 663–671.
69. *Симакова М.С.* О новом методе картографирования почв с использованием пластики рельефа // Почвоведение. 1988. № 6. С. 121–127.
70. *Симакова М.С.* О компьютерной картографии почв // Почвоведение. 2002. № 2. С. 133–139.
71. *Симакова М.С.* Пути совершенствования природно-сельскохозяйственного районирования территории России // Почвоведение. 2003. № 12. С. 1422–1430.
72. *Симакова М.С., Овечкин С.В.* Почвообразующие породы и гранулометрический состав на мелкомасштабных почвенных картах // Почвоведение. 2007. № 7. С. 789–798.
73. *Симакова М.С., Савин И.Ю.* Использование материалов аэро- и космической съемки в картографировании почв: пути развития, состояние, задачи // Почвоведение. 1998. № 11. С. 1339–1347.
74. *Симакова М.С., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В.* Цифровая версия Государственной почвенной карты масштаба 1 : 1 млн: проблемы и решения // Почвоведение. 2012. № 4. С. 387–397.
75. *Смирнова М.А., Геннадиев А.Н.* Количественная оценка разнообразия почв Арктики и Субарктики (по картографическим данным) // Почвоведение. 2019. № 1. С. 20–31.

76. *Сорокина Н.П.* Крупномасштабная картография почв в связи с агроэкологической типизацией земель // Почвоведение. 1993. № 9. С. 37–46.
77. *Сорокина Н.П.* Элементарные почвенные структуры пахотных земель: опыт картографирования // Почвоведение. 2000. № 2. С. 158–168.
78. *Сорокина Н.П., Козлов Д.Н.* Опыт цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2009. № 2. С. 198–210.
79. *Сорокина Н.П., Козлов Д.Н., Кузнецова И.В.* Оценка постагрессивной трансформации дерново-подзолистых почв: картографическое и аналитическое обоснование // Почвоведение. 2013. № 10. С. 1193–1206.
80. *Степанов И.Н.* Внедрение в картографию почвенно-геологических образов - потоковых структур // Почвоведение. 1995. № 6. С. 681–694.
81. *Степанов И.Н.* Истинные и ложные линии на почвенных картах // Почвоведение. 1990. № 3. С. 128–146.
82. *Степанов И.Н., Хакимов Ф.И.* Карта систем почвенного покрова Туркменистана // Почвоведение. 1988. № 6. С. 104–109.
83. *Сурмач Г.П.* Классификация смытых почв и ее применение при составлении крупномасштабных почвенно-эрозионных карт // Почвоведение. 1954. № 1. С. 71–80.
84. *Сухачева Е.Ю., Ревина Я.С.* Цифровая почвенная карта Южного берега Крыма // Почвоведение. 2020. № 4. С. 389–397.
85. *Урусевская И.С.* Типы поясности и почвенно-географическое районирование горных систем России // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1285–1297.
86. *Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А.* Почвенно-географическое районирование как научное направление и основа рационального землепользования // Почвоведение. 2015. № 9. С. 2010–2023.
87. *Уфимцева К.А.* О Государственной почвенной карте // Почвоведение. 1997. № 3. С. 398–400.
88. *Флоринский И.В.* Гипотеза Докучаева как основа цифрового почвенного картографирования (к 125-летию публикации) // Почвоведение. 2012. № 4. С. 500–506.
89. *Федорин Ю.В.* Задачи изучения и картографирования почв в связи с введением земельного кадастра СССР // Почвоведение. 1978. № 5. С. 15–20.
90. *Фридланд В.М.* Опыт почвенно-географического разделения горных систем СССР // Почвоведение. 1951. № 9. С. 521–535.
91. *Хитров Н.Б.* Создание детальных почвенных карт на основе интерполяции данных о свойствах почв // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1045–1056.

92. Черноусенко Г.И., Калинина Н.В., Рухович Д.И., Королева П.В. Цифровая карта засоления почв Хакасии // Почвоведение. 2012. № 11. С. 1131–1140.

93. Шеремет Б.В. Применение математических методов в почвенной картографии // Почвоведение. 1985. № 5. С. 134–140.

REFERENCES

1. Alekseev V.E., Rodina A.K., Opyt sostavlenija kart mineralogicheskogo sostava pochv (Experience in compiling maps of mineralogical composition of soils), *Pochvovedenie*, 1987, No. 8, pp. 112–119.
2. Ananko T.V., Gerasimova M.I., Konjushkov D.E., Opyt obnovlenija pochvennoj karty RSFSR masshtaba 1 : 2.5 mln v sisteme klassifikacii pochv Rossii (The experience of updating the soil map of the RSFSR at a scale of 1 : 2.5 million in the soil classification system of Russia), *Pochvovedenie*, 2017, No. 12, pp. 1411–1420.
3. Ananko T.V., Sokolov I.A., Konjushkov D.E., Gradusov B.P., Sistema pochvennyh kart: opyt primenenija principov polikomponentnoj bazovoj klassifikacii (System of soil maps: experience in applying the principles of multi-component basic classification), *Pochvovedenie*, 1998, No. 5, pp. 620–631.
4. Andronikov V.L., Mikhnovskiy V.K., Ispol'zovanie krupnomasshtabnyh pochvennyh kart v sel'skohozyajstvennom proizvodstve (Use of large-scale soil maps in agricultural production), *Pochvovedenie*, 1959, No. 12, pp. 24–35.
5. Andronikov V.L., Ananko T.V., Mihajlova R.P., Simakova M.S., Shubina I.G., Otrazhenie struktury pochvennogo pokrova na pochvennyh kartah (Soil cover pattern on soil maps), *Pochvovedenie*, 1993, No. 7, pp. 76–82.
6. Andronikov V.L., Rudneva E.N., Pochvenno-geograficheskie zakonomernosti i principy otobrazhenija pochvennogo pokrova na pochvennoj karte Rossijskoj Federacii (Soil-geographical regularities and principles of displaying the soil cover on the soil map of the Russian Federation), *Pochvovedenie*, 1993, No. 10, pp. 19–27.
7. Aparin B.F., Suhacheva E.Yu., Principy sozdaniya pochvennoj karty megapolisa (na primere Sankt-Peterburga) (Principles of compiling a soil map of a megapolis (with the example of St. Petersburg), *Pochvovedenie*, 2014, No. 7, pp. 790–802.
8. Arnol'd R.V., Detal'naja pochvennaja s'emka v SShA (Detailed soil survey in the USA), *Pochvovedenie*, 1990, No. 2, pp. 21–29.
9. Bibliograficheskij spravochnik: Materialy, opublikovannye v zhurnale "Pochvovedenie" za 100 let (Bibliographic reference: Materials published in "Pochvovedenie" journal for 100 years), Moscow: Nauka, 1999, 670 p.

10. Vinogradov B.V., Kulik K.N., Sorokin A.D., Fedotov P.B., Izodinamicheskoe kartografirovanie i dolgovremennyy monitoring opustynivaniya i degradacii zemel' s primeneniem nelinejnyh metodov modelirovaniya (Isodynamic mapping and long-term monitoring of desertification and land degradation using nonlinear modeling methods), *Pochvovedenie*, 1999, No. 4, pp. 494–504.
11. Vlasjuk I.A., K voprosu kartirovaniya jerodirovannyh pochv (On problems of eroded soils mapping), *Pochvovedenie*, 1953, No. 10, pp. 68–73.
12. Volkova V.I., Zhuchkova V.K., Kriticheskij analiz ispol'zovaniya metoda “morfoizograficheskogo karkasa” v pochvennom kartografirovanii (Critical analysis of the use of the “morphoigraphic framework” method in soil mapping), *Pochvovedenie*, 2000, No. 10, pp. 1173–1186.
13. Vorob'ev S.N., Izerskaja L.A., Rjumkin A.I., Dobrylina N.V., Eelektronnaja pochvennaja karta Tomskoj oblasti (Electronic soil map of the Tomsk oblast), *Pochvovedenie*, 1996, No. 7, pp. 830–832.
14. Gedymin A.V., Sorokina N.P., O metode “plastiki rel'efa” (On the “relief plastics” method), *Pochvovedenie*, 1988, No. 6, pp. 110–120.
15. Gennadijev A.N., Pikovskij Yu.I., Karty ustojchivosti pochv k zagrazneniju nefteproduktami (Maps of soil resistance to oil products pollution), *Pochvovedenie*, 2007, No. 1, pp. 80–92.
16. Gennadijev A.N., Chernjanskij S.S., Pochvy zarubezhnyh stran v zhurnale “Pochvovedenie” (1899–1999) (Soils of foreign countries in “Pochvovedenie” journal (1899–1999)), *Pochvovedenie*, 1999, No. 1, pp. 23–29.
17. Gerasimov I.P., Gosudarstvennaja pochvennaja karta SSSR i sovremennye zadachi sovetsoj kartografii pochv (State soil map of the USSR and current problems of Soviet soil cartography), *Pochvovedenie*, 1950, No. 4, pp. 195–206.
18. Gerasimov I.P., Rozov N.N., Osnovnye jetapy razvitija obzornoj (melkomasshtabnoj) pochvennoj kartografii v SSSR (The main stages in the development of survey (small-scale) soil cartography in the USSR), *Pochvovedenie*, 1939, No. 7, pp. 53–61.
19. Gerasimova M.I., Karavaeva N.A., Targul'jan V.O., Degradacija pochv: metodologija i vozmozhnosti kartografirovaniya (Soil degradation: methodology and possibilities of mapping), *Pochvovedenie*, 2000, No. 3, pp. 358–365.
20. Gerasimova M.I., Gavrilova I.P., Glazovskaja M.A., Obzornaja pochvennaja karta Rossii i sopredel'nyh gosudarstv: novyj uroven' obobshhenija (Overview soil map of Russia and neighboring states: a new level of generalization), *Pochvovedenie*, 1995, No. 10, pp. 1233–1238.
21. Gerasimova M.I., Bogdanova M.D., Pochvy v nacional'nyh atlasah raznyh stran (Soils in national atlases of different countries), *Pochvovedenie*, 2015, No. 9, pp. 1036–1048.

22. Gerasimova M.I., Bogdanova M.D., Pochvennye karty v novom Jekologicheskom atlase Rossii (Soil maps in the new Ecological Atlas of Russia), *Pochvovedenie*, 2019, No. 12, pp. 1454–1470.
23. Glazovskaja M.A., Pochvenno-geohimicheskoe kartografirovanie dlja ocenki jekologicheskoj ustojchivosti pochv (Soil-geochemical mapping to assess the ecological stability of soils), *Pochvovedenie*, 1992, No. 6, pp. 5–14.
24. Glazovskaja M.A., Fridland V.M., Principy sostavlenija pochvennoj karty mira dlja vysshih uchebnyh zavedenij (Principles of compiling a world soil map for higher educational institutions), *Pochvovedenie*, 1978, No. 3, pp. 5–17.
25. Deeva N.F., Kerzhencev A.S., Metodicheskie problemy pochvenno-jekologicheskogo kartografirovanija (Methodological problems of soil-ecological mapping), *Pochvovedenie*, 1998, No. 9, pp. 1112–1118.
26. Dmitriev E.A., Ob ispol'zovanii korrelyacionnogo analiza pri rabote s kartami (On using the correlation analysis when working with maps), *Pochvovedenie*, 1968, No. 4, pp. 44–54.
27. Dmitriev E.A., koncepcija plastiki rel'efa i pochvovedenie (The concept of relief plastics and soil science), *Pochvovedenie*, 1998, No. 3, pp. 370–381.
28. Dobrovolskij G.V., Pochvenno-geograficheskoe rajonirovanie kak odno iz vaznyh napravlenij geografii pochv (Soil-geographical zoning as one of the important areas of soil geography), *Pochvovedenie*, 1985, No. 11, pp. 14–21.
29. Dobrovolskij G.V., Geografija i kartografija pochv – fundamental'nye i prikladnye aspekty (Soil geography and cartography – fundamental and applied aspects), *Pochvovedenie*, 1989, No. 10, pp. 20–26.
30. Dobrovolskij G.V., Urusevskaja I.S., Dorofeeva E.I., Principy sostavlenija karty racional'nogo ispol'zovanija i ohrany pochvennogo pokrova Nechernozemnoj zony RF (Principles of compiling a map of the rational use and protection of the soil cover of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation), *Pochvovedenie*, 1994, No. 1, pp. 13–23.
31. Dubrovina I.A., Tonkonogov V.D., Korrektirovka sodержanija krupnomasshtabnoj pochvennoj karty s ispol'zovaniem novej klassifikacii pochv Rossii (Correction of the content of the large-scale soil map using the new classification of soils of Russia), *Pochvovedenie*, 2008, No. 11, pp. 1297–1313.
32. Ermolaev O.P., Geoinformacionnoe kartografirovanie jerozii pochv v regione Srednego Povolzh'ja (Geoinformation mapping of soil erosion in the Middle Volga region), *Pochvovedenie*, 2017, No.1, pp. 130–144.
33. Zhogolev A.V., Savin I.Yu., Avtomatizirovannoe obnovlenie srednemashtabnyh pochvennyh kart (Automated updating of medium-scale soil maps), *Pochvovedenie*, 2016, No. 11, pp. 1319–1327.

34. Zajdel'man F.R., Bolatbekova K.S., Principy i opyt agrolandshaftnogo rajonirovaniya dlja obosnovaniya zemledelija i melioracii pochv (na primere Nechernozemnoj zony Rossii) (Principles and experience of agrolandscape zoning for substantiation farming and soil reclamation (with the example of the Non-Chernozemic Zone of Russia), *Pochvovedenie*, 1997, No. 3, pp. 368–375.
35. Zajdel'man F.R., Kovalev N.G., Chumicheva G.D., Nikiforova A.A., Bolatbekova K.S., Karmanov I.I., Bulgakov D.S., Principy i opyt sostavlenija agrolandshaftnyh jekologicheskikh pochvenno-meliorativnyh kart (Principles and experience of compiling agrolandscape ecological soil-reclamation maps), *Pochvovedenie*, 2004, No. 6, pp. 719–730.
36. Zaslavskij M.N., Nekotorye voprosy pochvenno-jerozionnogo kartirovaniya (Some problems of soil erosion mapping), *Pochvovedenie*, 1969, No. 10, pp. 95–104.
37. Zaslavskij M.N., Metodicheskie voprosy ocenki i kartografirovaniya jerozionno-opasnyh zemel' (Methodological issues of assessment and mapping of erosion-hazardous lands), *Pochvovedenie*, 1977, No. 6, pp. 85–98.
38. Ivanov I.V., Lukovskaja T.S., Naukometricheskij analiz publikacij zhurnalnala "Pochvovedenie" za sto let (1899–1999) (Scientometric analysis of publications in "Pochvovedenie" journal for hundred years (1899–1999), *Pochvovedenie*, 2003, No. 1, pp. 113–125.
39. Kalinina N.V., Ruhovich D.I., Pankova E.I., Chernousenko G.I., Koroleva P.V., Kartograficheskij analiz zavisimosti rasprostraneniya zasolennyh pochv na territorii Rossii ot rjada klimaticeskikh harakteristik (Cartographic analysis of the dependence of saline soils areas in Russia on a number of climatic characteristics), *Pochvovedenie*, 2016, No. 11, pp. 1287–1304.
40. Karavaeva N.A., Gerasimova M.I., Karta "Agrogennye izmeneniya zapasov gumusa i uplotnenie pochv" masshtaba 1 : 20 mln ("Agrogenic changes in humus reserves and soil compaction" scale 1 : 20 M), *Pochvovedenie*, 1997, No. 3, pp. 301–309.
41. Karavaeva N.A., Gerasimova M.I., Mirovye pochvennye karty: vremja I.P. Gerasimova i sovremennoe sostojanie (World soil maps: the time of I.P. Gerasimov and the current state), *Pochvovedenie*, 2005, No. 12, pp. 1469–1476.
42. Karavaeva N.A., Gerasimova M.I., Novye pochvennye karty kontinentov v masshtabe 1 : 25 mln i razvitie obzornogo pochvennogo kartografirovaniya (New soil maps of continents at a scale of 1 : 25 M and the development of small-scale soil mapping), *Pochvovedenie*, 1996, No. 1, pp. 54–63.
43. Kashtanov A.N., Vernjuk Ju.I., Savin I.Ju., Shhepot'ev V.V., Dokukin P.A., Sharychev D.V., Li K.A., Kartografirovanie ruchejkovoj jerozii pahotnyh pochv po dannym s bespilotnyh letatel'nyh apparatov (Mapping of rill

erosion of arable soils using data from unmanned aerial vehicles), *Pochvovedenie*, 2018, No. 4, pp. 506–512.

44. Kirillova N.P., Sileva T.M., Ul'janova T.Yu., Savin I.Yu. Metod "sovpadenij" i ego primenenie dlja postroeniya cifrovoj krupnomasshtabnoj pochvennoj karty (The "coincidence" method and its application for the construction of a digital large-scale soil map), *Pochvovedenie*, 2014, No. 10, pp. 1193–1203.

45. Kozlov D.N., Konjushkova M.V., Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya cifrovoj pochvennoj kartografii (po materialam mezhdunarodnogo soveshhanija, g. Logan, SShA, 2008 g.) (Current state and prospects for the development of digital soil cartography (based on the materials of the international meeting, Logan, USA, 2008), *Pochvovedenie*, 2009, No. 6, pp. 750–753.

46. Koroljuk T.V., Ovechkin S.V., Podhody k modernizacii Gosudarstvennoj pochvennoj karty Rossii na osnove metodov cifrovoj kartografii (Approaches to updating the State soil map of Russia based on digital cartography methods), *Pochvovedenie*, 2010, No. 5, pp. 527–537.

47. Krasil'nikov P.V., Gerasimova M.I., Golovanov D.L., Golovleva Ju.A., Konjushkova M.V., Sidorova V.A., Sorokin A.S., Raznoobrazie i prostranstvennaja organizacija pochvennogo pokrova v raznyh kartograficheskikh masshtabah (Diversity and spatial organization of soil cover at different cartographic scales), *Pochvovedenie*, 2020, No. 8, pp. 913–920.

48. Kremlenkova N.P., Opyt sostavlenija prognoznyh kart opasnosti fluoridnogo zagriznenija pochv (na primere Moskovskoj oblasti) (Experience in compiling predictive maps of the danger of fluoride contamination of soils (with the example of the Moscow region), *Pochvovedenie*, 1995, No. 9, pp. 1166–1172.

49. Kukushkina O.V., Aljabina I.O., Golubinskij A.A., Opyt rekonstrukcii zemledel'cheskogo ispol'zovaniya pochvennogo pokrova Balahninskogo uezda Nizhegorodskoj gubernii v XVIII–XIX vekah po kartograficheskim istochnikam (The experience of reconstructing the agricultural use of the soil cover of the Balakhna district of the Nizhny Novgorod province in the 18th–19th centuries according to cartographic sources), *Pochvovedenie*, 2018, No. 7, pp. 882–892.

50. Kuljanica A.L., Ruhovich D.I., Koroleva P.V., Vil'chevskaja E.V., Kalinina N.V., Analiz informativnosti metodov obrabotki bol'shikh sputnikovyh dannyh sistem tochnogo zemledelija pri korrekcii krupnomasshtabnyh pochvennyh kart (Analysis of the information content of methods for processing large satellite data of precision farming systems when correcting large-scale soil maps), *Pochvovedenie*, 2020, No. 12, pp. 1460–1477.

51. Lebedeva I.I., Tonkonogov V.D., *Jevoljucija genetiko-geograficheskikh idej v klassifikacii i kartografii pochv* (Evolution of genetic-geographical ideas in soil classification and cartography), *Pochvovedenie*, 2002, No. 7, pp. 789–796.
52. Lidov V.P., Orlova V.K., *O metodike pochvenno-jerozionnogo kartirovanija* (On the method of soil erosion mapping), *Pochvovedenie*, 1975, No. 7, pp. 120–125.
53. Lobova E.V., *Karta sistem pochvennogo pokrova Turkmenistana. Recenziya* (Map of soil cover systems in Turkmenistan. Review), *Pochvovedenie*, 1988, No. 6, pp. 128–129.
54. Lotov R.A., *Principy kartograficheskogo otobrazhenija sel'skhozajstvennoj nagruzhennosti pochv* (Principles of cartographic display of agricultural soil loading), *Pochvovedenie*, 1994, No. 7, pp. 98–107.
55. Pastuhov A.V., Kaverin D.A., Shhanov V.M., *Postroenie regional'nyh cifrovych tematicheskikh kart (na primere karty zapasov ugleroda v pochvah bassejna r. Usa)* (Construction of regional digital thematic maps (using the example of a map of carbon stocks in soils of the Usa river basin), *Pochvovedenie*, 2016, No. 9, pp. 1042–1051.
56. Prasolov L.I., *K voprosu o sodержanii pochvennyh kart malogo masshtaba* (On the maintenance of small-scale soil maps), *Pochvovedenie*, 1935, No. 4, pp. 474–480.
57. Rozhkov V.A., Shvidenko A.Z., *Pervye cifrovye karty pokazatelej biologicheskoj produktivnosti* (The first digital maps of biological productivity indicators), *Pochvovedenie*, 2010, No. 11, pp. 1296–1304.
58. Rozov N.N., Rudneva E.N., *Opyt sostavlenija pochvenno-jekologicheskoy karty* (Experience in compiling a soil-ecological map), *Pochvovedenie*, 1985, No. 11, pp. 22–27.
59. Romanova T.A., Najdenko G.I., Matejchuk S.E., Zasim A.V., *Opyt kartirovanija jerodirovannyh zemel' v zapadnoj chasti BSSR* (Experience in mapping eroded lands in the western part of the BSSR), *Pochvovedenie*, 1969, No. 12, pp. 127–133.
60. Rudneva E.N., *Problemy pochvennoj kartografii v trudah E.N. Ivanovoj i principy otobrazhenija na kartah pochvennogo pokrova* (Soil cartography problems in the works of E.N. Ivanova and the principles of displaying soil cover maps), *Pochvovedenie*, 1990, No. 1, pp. 48–57.
61. Ruhovich D.I., Vagner V.B., Vil'chevskaja E.V., Kalinina N.V., Koroleva P.V., *Problemy ispol'zovanija cifrovych tematicheskikh kart na territoriju SSSR pri sozdanii GIS "Pochvy Rossii"* (Problems of using digital thematic maps on the territory of the USSR when creating the GIS "Soils of Russia"), *Pochvovedenie*, 2011, No. 9, pp. 1043–1055.
62. Ruhovich D.I., Koroleva P.V., Kalinina N.V., Vil'chevskaja E.V., Simakova M.S., Dolinina E.A., Ruhovich S.V., *Gosudarstvennaja pochvennaja*

karta – versija ARCINFO (State soil map – ARCINFO version), *Pochvovedenie*, 2013, No. 3, pp. 251–266.

63. Ruhovich D.I., Simakova M.S., Kuljanica A.L., Bryzzhev A.V., Koroleva P.V., Kalinina N.V., Vil'chevskaja E.V., Dolinina E.A., Ruhovich S.V., Analiz primeneniya pochvennyh kart v sisteme retrospektivnogo monitoringa sostojaniya zemel' i pochvennogo pokrova (Analysis of the application of soil maps in the system of retrospective monitoring of the state of lands and soil cover), *Pochvovedenie*, 2015, No. 5, pp. 605–625.

64. Ruhovich D.I., Simakova M.S., Kuljanica A.L., Bryzzhev A.V., Koroleva P.V., Kalinina N.V., Chernousenko G.I., Vil'chevskaja E.V., Dolinina E.A., Ruhovich S.V., Metodologija sravnenija raznovremennyh pochvennyh kart v celjah vyjavlenija i opisaniya dinamiki pochvennogo pokrova na primere monitoringa zasolenija pochv (Methodology of comparing soil maps compiled in different time for revealing and describing the soil cover dynamics with the example of soil salinization), *Pochvovedenie*, 2016, No. 2, pp. 164–181.

65. Savin I.Yu., Zhogolev A.V., Prudnikova E.Yu., Sovremennye trendy i problemy pochvennoj kartografii (Current trends and problems of soil mapping), *Pochvovedenie*, 2019, No. 5, pp. 517–528.

66. Savin I.Ju., Ovechkin S.V., Ob obnovlenii srednemashtabnyh pochvennyh kart (On updating medium-scale soil), chvennyh kartah rajonnogo urovnja *Pochvovedenie*, 2019, No. 6, pp. 663–671.

67. Sadovnikov I.F., O sodержanii pochvennyh kart (About the content of soil map), *Pochvovedenie*, 1952, No. 11, pp. 1033–1038.

68. Samsonova V.P., Krotov D.G., Voronin V.A., Raznoobrazie pochv na pochvennyh kartah rajonnogo urovnya (Soil diversity on district-level soil maps), *Pochvovedenie*, 2019, No. 6, pp. 663–671.

69. Simakova M.S., O novom metode kartografirovaniya pochv s ispol'zovaniem plastiki rel'efa (On a new method of soil mapping using “relief plastics”), *Pochvovedenie*, 1988, No. 6, pp. 121–127.

70. Simakova M.S., O komp'yuternoj kartografii pochv (On computerized soil mapping), *Pochvovedenie*, 2002, No. 2, pp. 133–139.

71. Simakova M.S., Puti sovershenstvovaniya prirodno-sel'skohozjajstvennogo rajonirovaniya territorii Rossii (Ways to improve the natural and agricultural zoning of the territory of Russia), *Pochvovedenie*, 2003, No. 12, pp. 1422–1430.

72. Simakova M.S., Ovechkin S.V., Pochvoobrazujushhie porody i granulometricheskij sostav na melkomashtabnyh pochvennyh kartah (Soil-forming rocks and particle-size composition of soils on small-scale soil maps), *Pochvovedenie*, 2007, No. 7, pp. 789–798.

73. Simakova M.S., Savin I.Yu., Ispol'zovanie materialov ajero- i kosmicheskoy s'emki v kartografirovanii pochv: puti razvitija, sostojanie, zadachi (Use

of aerial and space survey data in soil mapping: development paths, state, tasks), *Pochvovedenie*, 1998, No. 11, pp. 1339–1347.

74. Simakova M.S., Ruhovich D.I., Koroleva P.V., Vil'chevskaja E.V., Kalinina N.V., Cifrovaja versija Gosudarstvennoj pochvennoj karty mashtaba 1 : 1 mln: problemy i reshenija (Digital version of the State soil map at a scale of 1 : 1 M: problems and solutions), *Pochvovedenie*, 2012, No. 4, pp. 387–397.

75. Smirnova M.A., Gennadiev A.N., Kolichestvennaja ocenka raznoobrazija pochv Arktiki i Subarktiki (po kartograficheskim dannym) (Quantitative assessment of soil diversity in the Arctic and Subarctic (based on cartographic data), *Pochvovedenie*, 2019, No. 1, pp. 20–31.

76. Sorokina N.P., Krupnomasshtabnaja kartografija pochv v svjazi s agroekologicheskoj tipizaciej zemel' (Large-scale soil mapping in relation to agroecological land typification), *Pochvovedenie*, 1993, No. 9, pp. 37–46.

77. Sorokina N.P., Jelementarnye pochvennye struktury pahotnyh zemel': opyt kartografirovaniya (Elementary soil structures of arable land: a mapping experience), *Pochvovedenie*, 2000, No. 2, pp. 158–168.

78. Sorokina N.P., Kozlov D.N., Opyt cifrovogo kartografirovaniya struktury pochvennogo pokrova (Experience in digital mapping of the soil cover pattern), *Pochvovedenie*, 2009, No. 2, pp. 198–210.

79. Sorokina N.P., Kozlov D.N., Kuznecova I.V., Ocenka postagrgennoj transformacii derno-podzolistyh pochv: kartograficheskoe i analiticheskoe obosnovanie (Assessment of postagrogenic transformation of soddy-podzolic soils: cartographic and analytical substantiation), *Pochvovedenie*, 2013, No. 10, pp. 1193–1206.

80. Stepanov I.N., Istinnye i lozhnye linii na pochvennyh kartah (True and false lines on soil maps), *Pochvovedenie*, 1990, No. 3, pp. 128–146.

81. Stepanov I.N., Vnedrenie v kartografiju pochvenno-geologicheskikh obrazov – potokovyh struktur (Implementation of soil-geological images – flow structures into cartography), *Pochvovedenie*, 1995, No. 6, pp. 681–694.

82. Stepanov I.N., Hakimov F.I., Karta sistem pochvennogo pokrova Turkmenistana (Map of soil cover systems of Turkmenistan), *Pochvovedenie*, 1988, No. 6, pp. 104–109.

83. Surmach G.P., Klassifikacija smytyh pochv i ee primenenie pri sostavlenii krupnomasshtabnyh pochvenno-eroziionnyh kart (Classification of washed away soils and its application in compiling large-scale soil-erosion maps), *Pochvovedenie*, 1954, No. 1, pp. 71–80.

84. Suhacheva E.Yu., Revina Ya.S., Cifrovaja pochvennaja karta Juzhnogo berega Kryma (Digital soil map of the southern coast of the Crimea), *Pochvovedenie*, 2020, No. 4, pp. 389–397.

85. Urusevskaja I.S., Tipy pojasnosti i pochvenno-geograficheskoe rajonirovanie gornyh sistem Rossii (Types of vertical zonation and soil-geographic

zoning of the mountain systems of Russia), *Pochvovedenie*, 2007, No. 11, pp. 1285–1297.

86. Urusevskaja I.S., Aljabina I.O., Shoba S.A., Pochvenno-geograficheskoe rajonirovanie kak nauchnoe napravlenie i osnova racional'nogo zemlepol'zovaniya (Soil-geographical zoning as a scientific direction and the basis for rational land use), *Pochvovedenie*, 2015, No. 9, pp. 2010–2023.

87. Ufimceva K.A., O Gosudarstvennoj pochvennoj karte (On the State Soil Map), *Pochvovedenie*, 1997, No. 3, pp. 398–400.

88. Florinskij I.V., Gipoteza Dokuchaeva kak osnova cifrovogo pochvennogo kartografirovaniya (k 125-letiju publikacii) (Dokuchaev's hypothesis as the basis for digital soil mapping (to the 125th anniversary of publication), *Pochvovedenie*, 2012, No. 4, pp. 500–506.

89. Fridland V.M., Opyt pochvenno-geograficheskogo razdeleniya gornyh sistem SSSR (The experience of soil-geographical division of the mountain systems of the USSR), *Pochvovedenie*, 1951, No. 9, pp. 521–535.

90. Fedorin Yu.V., Zadachi izucheniya i kartografirovaniya pochv v svyazi s vvedeniem zemel'nogo kadastra SSSR (The tasks of studying and mapping soils in connection with the introduction of the land cadastre of the USSR), *Pochvovedenie*, 1978, No. 5, pp. 15–20.

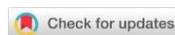
91. Khitrov N.B., Sozdanie detal'nyh pochvennyh kart na osnove interpoljicii dannyh o svojstvah pochv (Creation of detailed soil maps based on interpolation of data on soil properties), *Pochvovedenie*, 2012, No. 10, pp. 1045–1056.

92. Chernousenko G.I., Kalinina N.V., Ruhovich D.I., Koroleva P.V., Cifrovaja karta zasoleniya pochv Hakasii (Digital map of soil salinity in Khakassia), *Pochvovedenie*, 2012, No. 11, pp. 1131–1140.

93. Sheremet B.V., Primenenie matematicheskikh metodov v pochvennoj kartografii (Application of mathematical methods to soil mapping), *Pochvovedenie*, 1985, No. 5, pp. 134–140.

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-180-181



Ссылки для цитирования:

Исправление к статье Росликовой В.И., Матюшкиной Л.А. “Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской низменности в связи с эволюцией форм рельефа” // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 180-181. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-180-181

Cite this article as:

Erratum: Roslikova V.I., Matyushkina L.A., Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 180-181, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-180-181

Исправление к статье В.И. Росликовой, Л.А. Матюшкиной “Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской низменности в связи с эволюцией форм рельефа”

Росликова В.И., Матюшкина Л.А. Дифференциация почвенного покрова поймы Среднеамурской низменности в связи с эволюцией форм рельефа // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 106. С. 105-129. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-105-129.

Уважаемые читатели! В выпуске 106 журнала *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева* за 2021 год (2021;(106):105-129) на стр. 111 подпись к рисунку 1 вместо:

“**Рис. 1.** Схема строения пойменных отложений р. Амур в пределах Среднеамурской низменности, сформировавшихся в течение длительного времени в условиях направленной аккумуляции наносов. Отложения фаций: 1– руслового песка (песок с гравием); 2 – прирусловых валов (тонкозернистый песок); 3 – пойменной (легкие и средние суглинки); 4 – старичной (суглинки с илистыми прослоями); 5 – эоловых релок (тонко и мелкозернистый песок ([Сохина, 1973](#)))”

следует читать:

“**Рис. 1.** Схема строения пойменных отложений р. Амур в пределах Среднеамурской низменности, сформировавшихся в течение

длительного времени в условиях направленной аккумуляции наносов. Отложения фаций: 1– руслового песка (песок с гравием); 2 – прирусловых валов (тонкозернистый песок); 3 – пойменной (легкие и средние суглинки); 4 – старичной (суглинки с илистыми прослоями); 5 – оловых релок (тонко и мелкозернистый песок ([Махинов, 2006](#))).

Исправление не повлияло на сделанные авторами выводы.
Исправление было внесено в онлайн-версию Журнала.

Erratum: V.I. Roslikova, L.A. Matyushkina, “Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms”

Roslikova V.I., Matyushkina L.A., Differentiation of the soil cover of the floodplain of the Middle-Amur Lowland in connection with the evolution of the relief forms, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, V. 106, pp. 105-129, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-106-105-129.

Dear readers, on page 111 in Volume 106 of *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021, (2021;(106):105-129) the caption to figure 1:

“**Fig. 1.** Scheme of the structure of floodplain deposits of the Amur River within the Middle-Amur Lowland, formed over a long period of time under the conditions of directed sediment accumulation. Deposits of facies: 1 – channel sand (sand with gravel); 2 – levee (fine sand); 3 – floodplain (sandy loam and loam); 4 – old riverbed (loam with silty interlayers); 5 – eolian riolkas (relatively high fine sand ridges) ([Sokhina, 1973](#))”

should read:

“**Fig. 1.** Scheme of the structure of floodplain deposits of the Amur River within the Middle-Amur Lowland, formed over a long period of time under the conditions of directed sediment accumulation. Deposits of facies: 1 – channel sand (sand with gravel); 2 – levee (fine sand); 3 – floodplain (sandy loam and loam); 4 – old riverbed (loam with silty interlayers); 5 – eolian riolkas (relatively high fine sand ridges) ([Makhinov, 2006](#))”.

The correction did not have any effect on the conclusions made by authors.
The correction has been made to the online version of the journal.

Научное издание

Бюллетень Почвенного института
имени В.В. Докучаева

Выпуск 107

Главный редактор *А.Л. Иванов*

Заместитель главного редактора *И.Ю. Савин*

Редактор, компьютерная верстка *А.Ю. Романовская*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Почвенный институт имени В.В. Докучаева
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
<https://bulletin.esoil.ru>
e-mail: bulletin@esoil.ru

Сдано в набор 25.06.2021 г.
Подписано в печать 25.06.2021 г.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 10,6 Тираж 75 экз. Заказ №

Цена договорная.

Отпечатано с готового макета по заказу
Почвенного института имени В.В. Докучаева
ИП Ерховой И.М. (ОГРНИП 319774600080241)
Тел. (495) 799-48-85
e-mail: apr-rpa@list.ru