

Научная статья
УДК 631.425
doi: 10.18522/1026-2237-2024-2-66-71

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Максим Леонидович Бурдуковский

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Россия
mburdukovskii@gmail.com

Аннотация. Почвы юга Дальнего Востока характеризуются низким содержанием подвижных форм фосфора при повышенной концентрации его валовых форм. Цель данной работы состоит в изучении динамики содержания подвижных форм фосфора и их запасов в залежных и антропогенно трансформированных агротемногумусовых подбелах юга Приморского края. Работа проведена на залежах 15-, 20-, 35- и 80-летнего возраста. В качестве контроля использовались образцы с пашины. Установлено, что в основном подвижные формы фосфора в почвах аккумулировались в верхнем пахотном горизонте, особенно в варианте современной пашины. В целом в исследуемых почвах содержание подвижных форм фосфора оценивается как очень низкое. В течение изученного постагрогенного периода происходило снижение запасов подвижных форм фосфора по всему почвенному профилю.

Ключевые слова: почвы залежей, фосфор, темногумусовые подбелы, Приморский край

Для цитирования: Бурдуковский М.Л. Содержание и запасы подвижных форм фосфора в постагрогенных почвах Приморского края // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2024. № 2. С. 66–71.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7).

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0).

Original article

CONTENT AND STOCKS OF MOBILE PHOSPHORUS FORMS IN THE POSTAGROGENIC SOILS OF PRIMORSKY REGION

Maksim L. Burdukovskii

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy
of Science, Vladivostok, Russia
mburdukovskii@gmail.com

Abstract. The soils of the southern Far East are characterized by low levels of mobile phosphorus forms with an elevated concentration of its residual forms. The aim of this work is to study the dynamics of mobile phosphorus forms and their stocks in abandoned and anthropogenically transformed dark-humus podbels in Primorsky region of Russia. The study was conducted on abandoned agricultural fields (15, 20, 35, and 80 years after abandonment). As a reference site, we used samples from arable land. During the study, it was established that predominantly mobile phosphorus forms accumulated in the upper plow layer, especially in the soils of arable land. Overall, the content of mobile phosphorus forms in the studied soils is assessed as very low. Throughout the examined postagrogenic development, there was a decrease in the stocks of mobile phosphorus forms throughout the soil profile.

© Бурдуковский М.Л., 2024

Keywords: fallow soils, phosphorus, dark-humus podbels, Primorsky region

For citation: Burdukovskii M.L. Content and Stocks of Mobile Phosphorus Forms in the Postagrogenic Soils of Primorsky Region. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science.* 2024;(2):66-71. (In Russ.).

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topic No. 124012400285-7).

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0).

Введение

Содержание фосфора в почве является сложным и динамичным процессом, который подвержен влиянию различных факторов природной среды. Фосфатное состояние пахотных земель – важный показатель плодородия и окультуренности пашни. При этом дефицит элемента невозможно восполнить ничем, кроме как с помощью искусственных мер – использования фосфорсодержащих удобрений.

Почвы юга Дальнего Востока характеризуются низким содержанием подвижных форм фосфора при повышенной концентрации его валовых форм, что подтверждается работами многих исследователей [1, 2].

Первые обширные агрохимические обследования земель Приморского края показали, что более 80 % исследуемой территории относится к группам низкой и очень низкой обеспеченности подвижными формами фосфора, составляя 10–25 мг P₂O₅ на 1 кг почвы [3]. В последующий многолетний период химизации в пахотные почвы было внесено значительное количество известковых удобрений, органических и минеральных (преимущественно фосфоритной муки). Данная мера благоприятно сказалась на улучшении фосфатного режима. Однако использование удобрений происходило неравномерно и с разной интенсивностью. В результате возникли значительные различия в обеспеченности почв подвижными формами фосфора: встречаются территории как с избыточным содержанием, так и с явным недостатком элемента в пахотном горизонте.

Цель работы – изучить динамику содержания подвижных форм фосфора и их запасов в залежных и пахотных аллювиально серогумусовых почвах юга Приморского края.

Материалы и методы

Исследование проводилось в Уссурийском городском округе Приморского края (пос. Тимирязевский) в августе 2021 г. Исследуемые почвы классифицируются как агротемногумусовые подбелы [4]. Объектами служили почвы полей, которые в залежном состоянии находились 15, 20, 35 и 80 лет. В прошлом поля использовались под полевые и овощные севообороты.

В Приморском крае темногумусовые подбелы формируются на озерно-аллювиальных отложениях под остепненной разнотравно-злаковой растительностью. Характеризуются тяжелым механическим составом, высокой степенью гумусированности (табл. 1). Широко распространены в пределах Западно-Приморской равнины, а также на территории Среднеамурской равнины в нижнем течении р. Усури. Темногумусовые подбелы имеют высокий балл бонитета, составляют основу фонда агрономически ценной пашни региона (34,5 %).

Исследуемые темногумусовые подбелы расположены в пределах территории стационара ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. На стационаре введена система севооборотов с опытами по изучению влияния длительного внесения удобрений на почвенные характеристики и урожайность. В качестве контроля использовались образцы с пашни с контрольного варианта опыта (без использования удобрений); возделываемая культура в год исследований – соя. Почву с залежных участков отбирали по горизонтам по профилю разреза и прикопок (по три на каждом поле).

Таблица 1 / Table 1

**Агро- и физико-химические характеристики агротемногумусовых подбелов
/ Agro- and physico-chemical characteristics of agro-dark-humus podbels**

Показатель	Значение
Гумус, %	4,0±0,2
Нобш, %	0,18±0,03
pH KCl	4,3±0,3
K ₂ O ₅ подвижный, мг/кг почвы	179,2±20,0
P ₂ O ₅ подвижный, мг/кг почвы	27,5±2,1
Сумма обменных оснований мг-экв/100 г почвы	14,7±0,5
Плотность, г/см ³	1,1±0,05
Физическая глина, %	54,2±1,73
Физический ил, %	9,0±0,23

Подвижные формы P₂O₅ определяли в 0,2 н солянокислой вытяжке (по методу Кирсанова) колориметрическим методом на КФК-2 (колориметр фотоэлектрический концентрационный) [5].

Запасы подвижных форм P₂O₅ в почвенном горизонте вычислены в кг/га по формуле $Q = m \times h \times dv$, где Q – запасы подвижных форм P₂O₅, кг/га, для почвенного горизонта h ; m – содержание P₂O₅, мг/кг; h – мощность горизонта, см; dv – плотность сложения почвенного горизонта, г/см³.

Все определения выполнены в трехкратной повторности. Оценка содержания элемента в почве проводилась по шкале, разработанной В.И. Ознобихиным и Э.П. Синельниковым для почв Приморского края [6].

При обработке данных применяли общепринятые статистические методы с использованием программы Statistica v.13.

Анализ образцов проходил в специализированной лаборатории, на технической базе Центра коллективного пользования биотехнологии и генетической инженерии (ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН).

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было установлено, что в основном подвижные формы P₂O₅ в почвах аккумулировались в верхнем пахотном горизонте, особенно в варианте современной пашни (табл. 2). Поскольку контрольный вариант полевого опыта не подразумевает использования удобрений, ежегодная распашка почвы могла привести к изменению интенсивности микробиологических процессов, влияющих на активизацию перехода фосфатов в подвижные формы [7].

При сравнении показателей контроля с залежными аналогами установлено, что именно пахотный горизонт являлся основным источником подвижных форм P₂O₅ [8–10] – на протяжении изученного хронорядя содержание фосфатов снижается. Конкретные причины этого трудно объяснить. Возможно, под воздействием биологических факторов почва стремится к равновесному состоянию и подвижные формы фосфора стали трансформироваться в малоподвижные [11]. Также можно предположить, что смена растительности повлияла на истощение и миграцию подвижных форм элемента за пределы почвенного слоя [12]. Полученные результаты соотносятся с данными исследований других авторов, отмечающих снижение содержания подвижных форм P₂O₅ в почве в первые годы после вывода полей из сельскохозяйственной практики [13, 14].

При этом высокое содержание подвижных форм P₂O₅ отмечено и в бывшем пахотном горизонте 80-летней залежи. В данном случае накопление можно объяснить процессом образования дернины. Известно, что деятельность корневых систем растений способствует поступлению фосфора в верхний горизонт [10]. В зрелой залежи данный горизонт отчетливо выделялся морфологически. А ежегодное поступление и разложение косимого опада дополнительно способствовали биогенной аккумуляции элементов минерального питания в корнеобитаемом слое посредством повышенной микробиологической активности [7].

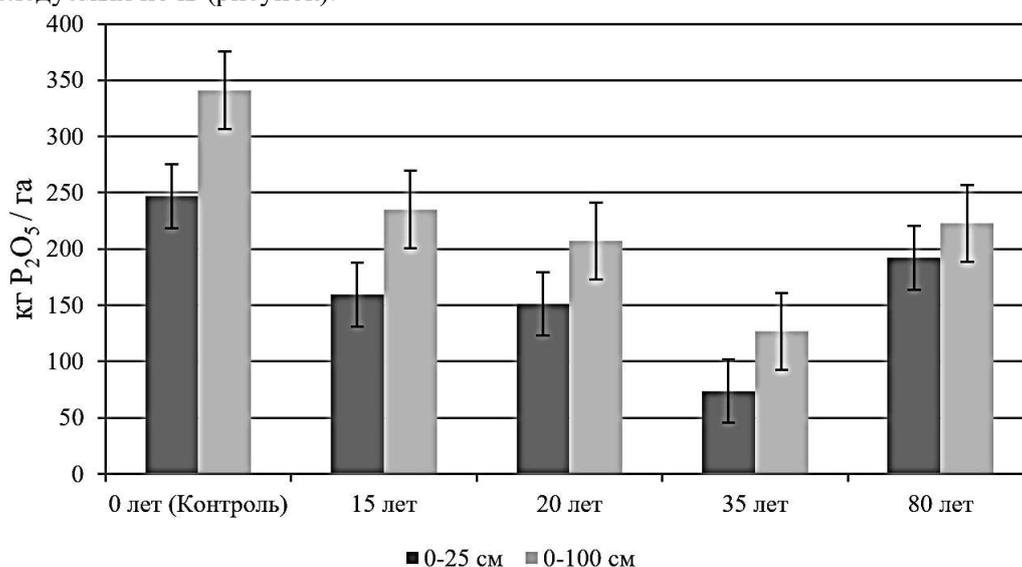
Таблица 2 / Table 2

**Содержание подвижных форм фосфора в агротемногумусовых подбелах
 / Content of mobile phosphorus form in agro-dark-humus podbels**

Возраст залежи, лет	Горизонт	Глубина, см	P ₂ O ₅ , мг/кг
0 (пашня)	PU	0–27	10,39±2,65
	ELnn	27–42	5,24±0,19
	BTnn, g	42–91	0,02±0,01
	G	91–132	следы
15	PU	0–15	8,33±1,28
	PU–ELnn	15–25	3,02±0,08
	ELnn	25–50	1,05±0,03
	BTnn, g	50–90	следы
20	BTnn	0–15	7,61±1,11
	PU–ELnn	15–25	2,23±0,07
	ELnn	25–50	1,02±0,01
	BTnn	50–90	следы
35	PU	0–15	6,47±1,32
	PU–ELnn	15–25	2,36±0,08
	ELnn	25–50	0,90±0,02
	BTnn, g	50–90	следы
80	PU	4–11	10,53±2,44
	PU–ELnn	11–35	3,40±0,09
	ELnn	35–55	1,36±0,04
	BTnn	55–111	следы

Почвы Дальнего Востока в основном характеризуются высоким содержанием валовых форм фосфора при низком содержании его подвижных форм [1, 2]. Часто подвижные формы P₂O₅ аккумулируются только в пределах верхнего (пахотного) горизонта, практически исчезая в горизонтах нижележащих [11, 13]. Это связано с тем, что у фосфора – низкая способность к миграции из-за быстрой абиотической фиксации элемента в труднорастворимых минеральных соединениях [14]. В Дальневосточном регионе на низкое содержание подвижных форм P₂O₅ влияет и процесс конкрециобразования, в результате которого элемент переходит в недоступное фиксированное состояние – железомарганцевые конкреции [15–17]. В исследуемых почвах содержание подвижных форм P₂O₅ оценивается как очень низкое.

Максимальные запасы подвижных форм P₂O₅ выявлены в пахотном и подпахотном горизонтах исследуемых почв (рисунок).



Запасы подвижных форм фосфора в агротемногумусовых подбелах, кг P₂O₅/га
 / Stocks of mobile phosphorus form in agro-dark-humus podbels, kg P₂O₅/ha

В течение постагрогенного периода происходило значительное снижение запасов подвижных форм P_2O_5 по всему почвенному профилю. Наименьшими запасами характеризуются 35-летние залежные участки, составляя $73,7 \pm 4,5$ кг/га в верхнем горизонте и $126 \pm 7,1$ кг/га в толще 0–100 см.

Заключение

Изменение условий функционирования агроценозов и перевод их в залежное состояние приводят к снижению содержания подвижных фосфатов в почве. При условии отсутствия интенсивного окультуривания с использованием удобрений содержание подвижных форм P_2O_5 в агротемногумусовых подбелах оценивается как очень низкое. Запасы подвижных форм P_2O_5 устойчиво снижались в течение исследованного периода постагрогенеза. Так, в 35-летних залежах запасы в толще 0–100 см составляют 126 кг/га, что в 2,7 раза меньше, чем в почве современной пашни. В 80-летних, за счет процесса задерновывания, большого поступления опада и повышенной микробиологической активности, запасы составили 222,8 кг/га, однако эта величина также ниже величины контрольного варианта в 1,5 раза. Результаты исследования могут служить основой для эффективного использования темногумусовых подбелов в системе сельскохозяйственной отрасли.

Список источников

1. Синельников Э.П., Слабко Ю.И. Агрогенезис почв Приморья. М.: ГНУ ВНИИА, 2005. 280 с.
2. Ивлев А.М., Дербенцева В.И., Голов В.И., Трегубова В.Г. Агрохимия почв юга Дальнего Востока. М.: Круглый год, 2001. 104 с.
3. Стрельченко Н.Е. Фосфатный режим переувлажненных почв Дальнего Востока. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1982. 143 с.
4. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
6. Ознобихин В.И., Синельников Э.П. Характеристика основных свойств почв Приморского края и пути их рационального использования. Уссурийск: Изд-во Приморского СХИ, 1985. 72 с.
7. Kuznetsova I.V., Tikhonravova P.I., Bondarev A.G. Changes in the properties of cultivated gray forest soils after their abandoning // Eurasian Soil Sci. 2009. № 9. P. 1062–1070.
8. Compton J.E., Boone R. Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests // Ecology. 2000. Vol. 81, № 8. P. 2314–2330.
9. Smal H., Olszewska M. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus // Plant Soil. 2008. Vol. 305. P. 171–187.
10. Telesnina V.M., Vaganov I.E., Karlisen A.A., Ivanova A.E., Zhukov M.A., Lebedev S.M. Specific features of the morphology and chemical properties of coarse-textured postagrogenic soils of the southern taiga, Kostroma Oblast // Eurasian Soil Sci. 2016. Vol. 49, № 1. P. 102–115.
11. Афанасьев Р.А., Мёрзлая Г.Е. Динамика подвижных форм фосфора и калия в почвах длительных опытов // Докл. РАСХН. 2013. № 3. С. 30–33.
12. Чертов О. Г. Экология лесных земель: почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний. Л.: Наука, 1981. 192 с.
13. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Najdenko L., Giani L. Self-restoration of post-agrogenic sandy soil in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009. Vol. 152 (1–2). P. 35–42.
14. Brogowski Z., Chojnicki J. Distribution of phosphorus in granulometric fractions of cambisol developed from morainic loam // J. Elementol. 2020. Vol. 25, № 1. P. 181–191.
15. Сычѳв В.Г., Куртичников Н.А. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА, 2009. 176 с.
16. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
17. Gasparatos D., Massas I., Godelitsas A. Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps // Catena. 2019. № 182. P. 104106.

References

1. Sinelnikov E.P., Slabko Yu.I. *Agrogenesis of the soils of Primorye*. Moscow: Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry Press; 2005. 280 p. (In Russ.).
2. Ivlev A.M., Derbentseva V.I., Golov V.I., Tregubova V.G. *Agrochemistry of soils of the South of the Far East*. Moscow: Kruglyi god Publ.; 2001. 104 p. (In Russ.).
3. Strelchenko N.E. *The phosphate regime of waterlogged soils of the Far East*. Vladivostok: Far Eastern Publishing House; 1982. 143 p. (In Russ.).
4. Shishov L.L., Tonkonogonov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Classification and diagnosis of soils of Russia*. Smolensk: Oikumena Publ.; 2004. 342 p. (In Russ.).
5. Arinushkina E.V. *A guide in chemical analysis of soils*. Moscow: Moscow State University Press; 1970. 488 p. (In Russ.).
6. Oznobikhin V.I., Sinelnikov E.P. *Characterization of the main properties of the soils of the Primorsky Territory and the way of their rational use*. Ussuriysk: Maritime State Agricultural Academy Press; 1985. 72 p. (In Russ.).
7. Kuznetsova I.V., Tikhonravova P.I., Bondarev A.G. Changes in the properties of cultivated gray forest soils after their abandoning. *Eurasian Soil Sci.* 2009;(9):1062-1070.
8. Compton J.E., Boone R. Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests. *Ecology*. 2000;81(8):2314-2330.
9. Smal H., Olszewska M. The effect of afforestation with Scots pine (*Pinus silvestris* L.) of sandy post-arable soils on their selected properties. II. Reaction, carbon, nitrogen and phosphorus. *Plant Soil*. 2008;305:171-187.
10. Telesnina V.M., Vaganov I.E., Karlsen A.A., Ivanova A.E., Zhukov M.A., Lebedev S.M. Specific features of the morphology and chemical properties of coarse-textured postagrogenic soils of the southern taiga, Kostroma Oblast. *Eurasian Soil Sci.* 2016;49(1):102-115.
11. Afanasyev R.A., Merzlaya G.E. The dynamics of mobile forms of phosphorus and potassium in the soils of long-term experiments. *Dokl. RASKhN = Reports of the Russian Academy of Agricultural Sci.* 2013;(3):30-33. (In Russ.).
12. Chertov O.G. *Ecology of forest lands. Soil-ecological study of forest habitats*. Leningrad: Nauka Publ.; 1981. 192 p. (In Russ.).
13. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Najdenko L., Giani L. Self-restoration of post-agrogenic sandy soil in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics. *Geoderma*. 2009;152(1-2):35-42.
14. Brogowski Z., Chojnicki J. Distribution of phosphorus in granulometric fractions of cambisol developed from morainic loam. *J. Elementol.* 2020;25(1):181-191.
15. Sychev V.G., Kirpichnikov N.A. *Techniques for optimizing the phosphate soil regime in agricultural technology*. Moscow: Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry Press; 2009. 176 p. (In Russ.).
16. Ivanov G.I. *Soil formation in the south of the Far East*. Moscow: Nauka Publ.; 1976. 200 p. (In Russ.).
17. Gasparatos D., Massas I., Godelitsas A. Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps. *Catena*. 2019;182:104106.

Информация об авторе

М.Л. Бурдуковский – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория почвоведения и экологии почв.

Information about the author

M.L. Burdukovskii - Candidate of Science (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Soil Science and Soil Ecology.

Статья поступила в редакцию 13.02.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 24.05.2024.
The article was submitted 13.02.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 24.05.2024.