

ГЛУБОКОПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОСФОРА В ПОЧВЕ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОРОДЕ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**О.П. Якутина, к.б.н., Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, Новосибирск, Проспект Академика Лаврентьева, д. 8/2, e-mail: oyakutina@issa-siberia.ru**

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН

На примере почвенного разреза глубиной 5 м рассмотрено распределение различных форм фосфора в профиле чернозема обыкновенного и подстилающих отложений в Барабинской лесостепи на юге Западной Сибири. Валовый фосфор определен по методу мокрого озоления в смеси серной и хлорной кислот по Гинзбург. Групповой состав минеральных фосфатов – по Гинзбург-Лебедевой в модификации Неговелова-Пестовой. Результаты показали, что распределение валового фосфора в комплексе почва – подстилающие отложения имеет четко выраженный ритмичный характер, связанный, с одной стороны, с органогенными, аккумулятивными процессами в верхней части профиля почвы, с другой стороны, с наличием слоев, однородных по содержанию валового фосфора, на глубине от 80 до 500 см. На основании этого выделено четыре блока со сходными параметрами. Величина содержания валового фосфора в почве и подстилающих отложениях относит его к субстратам, богатым фосфором. Абсолютное содержание фосфатов кальция первой-второй фракций и соотношение фракций минерального фосфора благоприятно для фосфорного питания растений.

Ключевые слова: валовый фосфор, минеральный фосфор, фракционный состав минерального фосфора, чернозем обыкновенный, подстилающие породы, Барабинская низменность, Западная Сибирь.

Для цитирования: Якутина О.П. Глубокопрофильное распределение фосфора в почве и подстилающей породе на юге Западной Сибири// Плодородие. – 2023. – №5. – С. 5-8. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.01.

Распределение фосфора в подстилающих породах и толщах отложений связано с геологической историей образования территории, процессами выноса-аккумуляции материала, обогащенного фосфором в течение продолжительного времени [9,14]. На территории Западной Сибири к наиболее богатым валовым фосфором (0,12-0,18%) относятся лессовидные пылеватые суглинки Приобского плато. Среди других геоморфологических элементов рельефа Западной Сибири данное плато ближе всего к Алтае-Саянской горной стране, являющейся источником выноса соединений фосфора [13]. На пониженных равнинах – Барабинской и Ишим-Иртышской – почвообразующая порода на высоких позициях рельефа беднее фосфором (0,06-0,009 %), осадки местных депрессий содержат 0,15-0,25 % P₂O₅. Содержание фосфора в почвообразующих породах, характер почвообразовательного процесса, антропогенная нагрузка и наличие эрозийных процессов определяют запасы и характер распределения валового фосфора в почвах [3, 5, 7, 8]. Попытки характеризовать фосфатный фонд пахотных горизонтов почв Западной Сибири [4], позволили выделить на этой территории три больших региона по запасам валового и минерального фосфора. В частности, Барабинская низменность и Кулундинская депрессия отнесены к региону, где валовое содержание фосфора в почвах составляет в среднем 100 мг P₂O₅/100 г. Почвенный покров здесь контрастный, на повышенных позициях рельефа содержание валового фосфора, как правило, ниже, как и в почвообразующих породах [6]. Для почв этой территории характерно повышенное содержание органического фосфора, активные минеральные фосфаты (I-IV группа) составляют 51,6%, а фосфаты V группы (Ca-P_{III}) – 41,2% от суммы всех минеральных

фосфатов. Также отмечается [6], что для территории Барабы, особенно почв пониженных элементов рельефа, характерно значительное количество железофосфатов, 44% и более. Черноземы обыкновенные, в том числе осолоделые, солонцеватые и в комплексе с солонцами занимают на этой территории около 363,9 га, из них в составе пашни 319,0 тыс. га, и являются лучшими почвами для сельскохозяйственного использования. В то же время сведения о фосфатном фонде почв или почвенных комплексов этой территории очень фрагментарны. Исследование взаимосвязи распределения и содержания различных форм фосфора в почвах и породах этой территории позволит совершенствовать приемы рационального применения удобрений в условиях комплексного рельефа.

Цель исследований – изучить распределение различных форм фосфора в профиле чернозема обыкновенного и подстилающих отложениях Барабинской лесостепи на юге Западной Сибири.

Методика. Исследованная почва – чернозем обыкновенный, сформированный на отложениях фелдосовской свиты [10]. Почвенные образцы отобраны на гриве урочища «Маракинское» Барабинской лесостепи (Бараба) (Новосибирская обл, Убинский р-н, с. Кожурла), морфологическое описание разреза сделано в ходе научной полевой экскурсии Докучаевского съезда почвоведов в 2004 г. [13]. Абсолютные высоты участка составляли 137-138 м. Превышение над местным базисом эрозии, в качестве которого выступает водная поверхность озера Маракинское, достигало 8 м. Черноземы обыкновенные данной территории являются зональным типом, распространенным локально на вершинах и верхних склонах грив и часто характеризуются признаками осолодения и солонцеватости. Разрез, заложенный на вершине гривы, на пашне, включал следующие горизонты: А пах (0-23

см); A₁ (23-30 см); AB (30-50 см); B_{1ca} (50-80 см); B_{2ca} (80-116 см); BCca (116-135 см); Cca (135-160 см). Мощность гумусового горизонта (A+AB) – 49 см [11]. Максимальное скопление карбонатов в виде прослоек и плотных стяжений приурочено ко второй половине верхней метровой толщи (50-100 см). К морфологическим особенностям строения почвенного профиля относились: сравнительно однородная темная окраска гумусового горизонта, слабая оструктуренность почв, языковатость переходов между генетическими горизонтами, наличие слабовыраженных признаков осолодения и солонцеватости. Слабоминерализованные грунтовые воды залегают на глубине более 6 м и участия в почвообразовании не принимали. Полевой отбор выполнен методом детального глубокопрофильного послынного отбора образцов почв и почвообразующих пород сплошной колонкой [11].

Гранулометрический состав почвы легкоглинистый с преобладанием иловатых и крупнопылеватых фракций. Количество частиц <0,001 и <0,01 мм (в % к сухой почве) составляло 34,3-44,1 и 49-64,6 соответственно. Горизонт AB характеризовался повышенным (44,1%) содержанием илистой фракции. Содержание гумуса в A горизонте варьировало в диапазоне 6,19-7,30%, с резким снижением до величины 0,34 % на глубине 135-160 см. Емкость катионного объема в горизонтах A+AB составила 37,2-30,5, обменного натрия – 1,4-1,7 мг-экв/100 г почвы. В горизонте AB отмечалось увеличение валового содержания Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂. Почвообразующая порода – лессовидный карбонатный суглинок [11].

В образцах почвенного материала, отобранных до глубины 5 м с интервалом 10 см, определили валовый фосфор и групповой (фракционный) состав минеральных фосфатов. Органический фосфор был рассчитан по разнице между этими формами. Валовый фосфор определен после мокрого озоления в смеси серной и хлорной кислот по Гинзбург и др. с последующим осаждением железа по Уоррену и Пью [1]. Групповой состав минеральных фосфатов устанавливали по Гинзбург-Лебедевой в модификации Неговелова-Пестовой [1].

Результаты и их обсуждение. Распределение валового фосфора в комплексе почва – подстилающие отложения имеет четко выраженный ритмичный характер (рис.), связанный, с одной стороны, с органогенными, аккумулятивными процессами в верхней части профиля почвы, с другой стороны, с наличием слоев, однородных по содержанию валового фосфора на глубине 80-500 см. Из рисунка видны максимальные (0,25%) показатели содержания валового фосфора в слое 0-30 см, включающем в себя горизонты A-A₁. Известно [10], что содержание гумуса в горизонте A составляет 6,2-7,3 %, вниз по профилю оно постепенно убывает. В переходном AB (30-50 см) горизонте наблюдается резкое падение содержания фосфора до 0,15 %. Ниже по профилю, начиная с 50 см (B₁Ca) и до 200 см (Cca и ниже), содержание валового фосфора постепенно убывает до 0,1%. Это может быть обусловлено тем, что современным почвообразовательным процессом (за голоцен-верхнеплейстоценовый период) охвачен только слой 60-70 см, глубже залегающие горизонты фактически принадлежат ранее сформированной почве, о чем свидетельствуют изменения значений литохимического индексов CIA и CIW [10].

На глубине 2-3 м наблюдается метровый гомогенный слой с содержанием валового фосфора 0,08%. Начиная с глубины 3 м происходит возрастание содержания элемента до 0,17-0,18 %. С небольшими изменениями оно

снижается до 0,15 % на отметке 5 м. Очевидно, что пиковые значения содержания валового фосфора в изученном разрезе связаны, прежде всего, с органогенным накоплением. Согласно шкале оценки Западной Сибири по количеству валового фосфора [7], почвы, содержащие 0,21-0,25 % P₂O₅ в горизонте A и 0,16-0,20% в материнской породе относятся к богатым. По мнению ряда авторов [3, 7, 8, 12], исследовавших фосфатный режим почв Западной Сибири, преимущественное накопление фосфора в верхней части профиля характерно для черноземов северной лесостепи, в частности территории Барабинской низменности. В то же время, как отмечал [8], достаточно большое содержание валового фосфора в почвах этой территории нивелируется бедностью его подвижных минеральных форм на фоне значительного количества фосфорорганических соединений. Необходимо отметить, что полученные величины валового фосфора в глубокопрофильном разрезе урочища Маракинское оказались выше значений, определенных ранее для черноземов Барабы [2, 7]. Это связано, вероятно, со значительной пестротой почвенного покрова и небольшими выборками почв.

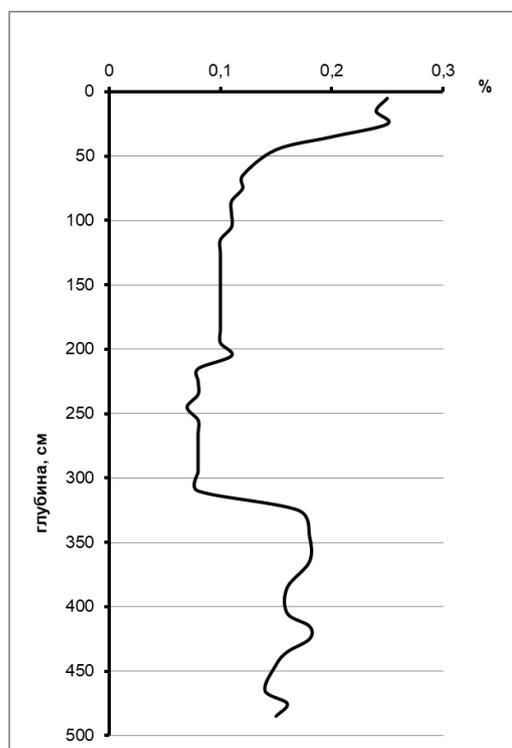


Рис. Распределение валового фосфора в глубокопрофильном разрезе на черноземе обыкновенном Барабинской низменности

1. Диапазоны значений (абсолютное значение и доля от валового минерального и органического фосфора в профиле чернозема обыкновенного и подстилающих отложений в лесостепи Барабинской низменности

Глубина, см	P ₂ O ₅ мин.		P ₂ O ₅ орг.	
	мг/100 г		%	
0-100	43-72	59-181	27,6-46,4	53,6-72,4
100-200	50-54	47-51	50-54	45-53,6
200-300	59-65	15-23	70-83	17,1-30
300-500	58-70	80-114	36,6-46,6	53,3-63,3

Распределение минерального фосфора в профиле чернозема обыкновенного (табл. 1) условно можно разделить на четыре блока, сходных по абсолютному содержанию суммы фракций и доле этой величины от валового содержания элемента. Первый блок с разбросом

значений от 43 до 72 мг/100 г в слое 0-100 см характерен для верхней части профиля, охваченной процессами почвообразования, он характеризуется нисходящим трендом распределения. Доля минерального фосфора варьирует от 27,6 до 46,4%. Второй блок – 100-200 см, значения варьируют в диапазоне 50-54 мг/100 г, доля минерального от валового также составляет 50-54 %. Третий блок включает в себя промежуток от 2 до 3 м и характеризуется абсолютными значениями от 59 до 65 мг/100 г, доля фосфора варьирует от 70 до 83 %. Четвертый блок охватывает глубину от 3 до 5 м, значения варьируют в интервале 58-70 мг/100 г, доля минерального фосфора составляет от 36,6 до 46,6 %.

Распределение в профиле органического фосфора также носит упорядоченный характер (см. табл. 1). Так, если в слое 1 м наблюдаются широкий диапазон значений и постепенное снижение содержания фосфора, связанное с убылью содержания органического вещества, то в промежутке от 1 до 2 м значения органического фосфора очень близки. Следующий, относительно однородный слой, выделяется на глубине от 3 до 4 м с разбросом значений от 97 до 114 мг/100 г. Доля органического фосфора от валового содержания постепенно снижается от гумусового горизонта до глубины 3 м. На глубине 3 м наблюдается резкое повышение содержания до 62 %, далее до 5 м оно варьирует незначительно. О ритмическом характере распределения в профиле изученной почвы, как илистых частиц, так и химических соединений, уже отмечалось [10] и привелись данные о наличии в почвенно-грунтовой толще как минимум двух педолитогенных комплексов, имеющих элювиально-иллювиальный характер распределения вещества.

Анализ фракционного состава минерального фосфора показал, что распределение одно- и двухзамещенных фосфатов кальция (Са-Р_I, Са-Р_{II}), фосфатов алюминия (Al-P) и железа (Fe-P) в пределах почвенного профиля (100 см) частично носит сходный характер, наблюдается аккумуляция этих форм в верхнем, органогенном, слое вниз по профилю распределение имеет нисходящий тренд (табл. 2).

2. Фракционный состав минерального фосфора чернозема обыкновенного лесостепи Барабинской низменности, мг/100 г

Глубина, см	Са-Р _I	Са-Р _{II}	Al-P	Fe-P	Са-Р _{III}	Сумма
0-10	8,8	9,6	6,9	15,5	28,1	69
10-20	9,8	9,6	6,5	16,0	29,8	72
20-30	10,6	10,2	6,6	14,8	28,8	71
30-40	8,7	7,3	7,3	15,7	28,3	67
40-50	7,0	4,1	4,8	11,4	25,9	53
50-60	5,5	2,4	3,7	9,1	26,0	47
60-70	4,0	1,8	2,3	7,0	28,3	43
70-80	3,6	0,8	1,5	5,1	33,3	44
80-90	0,7	8,7	1,3	5,4	34,6	51
90-100	0,5	9,6	2,6	5,7	32,6	51

Наряду с этим, наблюдается разнонаправленность в распределении первых двух фракций, начиная с 80 см (В₂Са гор.) – резкое снижение содержания фосфатов Са-Р_I и резкое увеличение содержания фосфатов Са-Р_{II}. Фракция Са-Р_{III}, напротив, демонстрирует постепенное накопление фосфора с увеличением глубины. Содержание фосфатов железа в 2 раза выше фосфатов алюминия

как в почвенном профиле, так и в подстилающих отложениях. Сумма минеральных фосфатов в пределах почвенного профиля имеет два пика накопления – в горизонтах А и В₂са, в промежутке (В₁са гор.) находится область пониженного содержания, где также наблюдается падение содержания валового фосфора. Абсолютное содержание фосфатов кальция первой-второй фракции в верхней части гумусо-аккумулятивного горизонта свидетельствует о хорошей обеспеченности растений доступными фосфатами. Соотношение фракций Са-Р_I + Са-Р_{II}, а также Са-Р_I + Са-Р_{II} + Al-P + Fe-P к сумме минеральных фосфатов также благоприятное.

Заключение. Распределение валового фосфора в комплексе почва – подстилающие отложения имеет четко выраженный ритмичный характер. Это объясняется, с одной стороны, органогенными, аккумулятивными процессами в верхней части профиля почвы, с другой, наличием слоев, однородных по содержанию валового фосфора на глубине 80-500 см. Пиковые значения связаны с содержанием гумуса в слое 0-30 см, на глубине ниже 3 м увеличение содержания фосфора демонстрирует, вероятнее всего, многочленность пород данной территории. Диапазоны значений абсолютного содержания минерального и органического фосфора и их доли от валового содержания показывают наличие в 5-метровом разрезе четырех метровых блоков, близких по своим параметрам.

Согласно валовому содержанию фосфора в почвенном профиле и подстилающих отложениях, чернозем обыкновенный лесостепи Барабинской низменности относится к субстратам, богатым фосфором. Абсолютное содержание фосфатов кальция первой-второй фракций и соотношение фракций минерального фосфора благоприятно для фосфорного питания растений.

Литература

1. *Агрохимические методы исследования почв* / Отв. ред. А.В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. *Антипина Л.П.* Фракционный состав минеральных фосфатов в черноземах Сибири // *Агрохимия*. – 1978. – № 1. – С. 32-39.
3. *Антипина Л.П., Паишкович Н.К.* Закономерности распределения фосфора в почвенном покрове Западной Сибири / Фосфатный режим почв Сибири. – Новосибирск: РПО СО ВАСХНИЛ, 1985. – С. 3-9.
4. *Антипина Л.П., Паишкович Н.К., Малыгина Л.П.* Фосфор в почвенном покрове Западной Сибири // *Агрохимия*. – 1988. – № 5. – С. 20-28.
5. *Аникина А.П.* Агрохимическая характеристика почв // *Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений*. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. – С. 46-62.
6. *Берхин Ю.И.* Валовый фосфор в почвах юга Западной Сибири // *Агрохимия*. – 1979. – № 7. – С. 26-35.
7. *Гинзбург К.Е.* Фосфор основных типов почв СССР. – М: Наука, 1981. – 244 с.
8. *Елизарова Т.Н., Дитц Л.Ю., Сысо А.И. и др.* Современные и реликтовые свойства почв лесостепных ландшафтов Западной Сибири // *Сибирский экологический журнал*. – 2005. – № 5. – С. 871-883.
9. *Путеводитель научных полевых экскурсий IV съезда Докучаевского общества почвоведов (9-13 августа 2004 г, Новосибирск)*. – Новосибирск, 2004. – 116 с.
10. *Танасиенко А.А., Якутина О.П., Чумбаев А.С.* Содержание фосфора в незеродированных и эродированных черноземах и продуктах твердого стока расчлененной территории Западной Сибири // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2017. – № 4. – С. 29-35.
11. *Шумилова Е.В.* Терригенные компоненты мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской низменности. – Новосибирск: РПО СО РАН СССР, 1963. – 314 с.
12. *Янин А.Л., Жарков М.М.* Фосфор и калий в природе. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. – 189 с.

*O.P. Yakutina, PhD in Biological sciences
Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
pr. Acad. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, 630090 Russia, e-mail: oyakutina@yandex.ru*

On the example of a soil profile five meters deep, the distribution of various forms of phosphorus in the profile of ordinary chernozem and underlying deposits in the Baraba forest-steppe in the south of Western Siberia is considered. Total phosphorus was determined by the method of wet ashing in a mixture of sulfuric and perchloric acids according to Ginzburg. The group composition of mineral phosphates – according to Ginzburg-Lebedeva in the modification of Negovelov-Pestova. The results showed that the distribution of total phosphorus in the complex soil – underlying sediments has a clearly pronounced rhythmic character, associated, on the one hand, with organogenic, accumulative processes in the upper part of the soil profile, and on the other hand, with the presence of layers that are homogeneous in terms of the content of total phosphorus at a depth of 80 to 500 cm. Based on this, four blocks with similar parameters were identified. The content of total phosphorus in the soil and underlying sediments refers it to substrates rich in phosphorus. The absolute content of calcium phosphates of the first-second fraction and the ratio of fractions of mineral phosphorus are favorable for phosphorus nutrition of plants. Key words: total phosphorus, mineral phosphorus, fractional composition of mineral phosphorus, ordinary chernozem, parent materials, Baraba lowland, Western Siberia.

УДК 631.452:631:85

DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.02

ОЦЕНКА ФОСФОРНОГО ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

В.Г. Сычев¹, Ю.И. Гречишкина², А.В. Матвиенко³

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», 127434, Россия, г. Москва, ул. Прянишникова, 31, ainfo@vniia-pr.ru

²ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, lnwg@mail.ru

³ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Ставропольский», 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 65, stavhim@mail.ru

В основе исследования лежат результаты государственного мониторинга плодородия почв и применения удобрений в Ставропольском крае за 2013-2022 г. Обобщены и проанализированы данные по основным подтипам почв региона: светло-каштановым, каштановым и тёмно-каштановым, чернозёмам южным, обыкновенным, типичным и выщелоченным. Содержание подвижного фосфора оказалось ниже оптимального на 1,8-7,1 мг/кг для всех подтипов почв, кроме светло-каштановых. Регрессионным анализом выявлена положительная тенденция по содержанию подвижного фосфора в светло-каштановых почвах, для остальных подтипов почвы определена тенденция к снижению. Среднее за период наблюдений поступление подвижного фосфора в почву из удобрений по подтипам почв составило от 14,4 до 37,8 кг д.в./га, что сильно уступает рекомендуемым дозам удобрения зерновых культур. Самым востребованным в Ставропольском крае фосфоросодержащим удобрением является аммофос, доля которого в среднем составляет 82% от общего объёма. Проведено сравнение затратности на аммофос и сульфаммофос в качестве фосфоросодержащего удобрения. В 2023 г. средняя цена за 1 т действующего вещества (при пересчёте на азот, фосфор, калий) из аммофоса составила 78051 руб., из сульфаммофоса – 90984 руб. Влияние подвижного фосфора из почвы на урожайность зерновых и зернобобовых культур определено как очень слабое ($r=0,19$), а из вносимых удобрений – как умеренное ($r=0,38$).

Ключевые слова: плодородие почвы, подвижный фосфор, чернозём, каштановые почвы, фосфоросодержащие удобрения.

Для цитирования: Сычев В.Г., Гречишкина Ю.И., Матвиенко А.В. Оценка фосфорного питания сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае// Плодородие. 2023. – №5. – С. 8-11. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.02.

В современных условиях ведение сельского хозяйства без сохранения плодородия почвы нельзя считать рациональным. Плодородие – это основа, без которой невозможно в длительной перспективе обеспечить продовольственную безопасность и рост экспортного потенциала страны. В свою очередь система по сохранению плодородия должна основываться на регулярном агрохимическом обследовании, прогнозировании ситуации и принятии мер по предотвращению негативных процессов [1, 2, 5].

Среди основных показателей плодородия почвы в условиях Ставропольского края большего всего вопросов вызывает обеспеченность подвижным фосфором

(P_2O_5). Роль фосфора при выращивании озимых культур сложно переоценить [3, 6]. Так при достаточной обеспеченности фосфором растения лучше переносят стрессовые погодные условия. В них улучшается углеводный обмен, накапливаются сахара и как следствие усиливаются морозо- и зимостойкость [7, 9].

Подвижного фосфора в чернозёмных и каштановых почвах Ставрополья может в среднем содержаться 10-60 мг/кг почвы (по Мачигину). При этом оптимальным для выращивания зерновых культур содержанием принято считать 25-30 мг/кг, в зависимости от подтипа почвы [4, 5, 8].