

УДК 631.416.2:631.459.2

DOI: 10.25684/NBG.scbook.148.2019.07

ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ СКЛОНОВОГО АГРОЛАНДШАФТА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Таисия Владимировна Нечаева, Наталья Владимировна Гопп,
Олег Александрович Савенков, Наталья Валентиновна Смирнова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, г. Новосибирск,
проспект Академика Лаврентьева, 8/2
e-mail: nechaeva@issa-siberia.ru; gopp@issa-siberia.ru; savenkov@issa-siberia.ru;
smirnova@issa-siberia.ru

Аннотация. **Цель.** Провести сравнительную оценку фосфатного состояния сильногумусированных почв в верхней части эрозионно опасного склона на высотах 280 – 310 м над уровнем моря и среднегумусированных почв в средней и нижней частях склона на высотах 190 – 280 м. Исследованные почвы Предсалаирья расположены на участке пахотного угодья площадью 225 га и протяженностью 4 км в лесостепной зоне на юго-востоке Западной Сибири (55°02'20" с.ш., 83°50'00" в.д.). **Методы.** Почвы (0 – 30 см) проанализированы на содержание гумуса в серно-хромовой смеси по методу Тюрина; валового ($P_{\text{вал}}$), органического ($P_{\text{орг}}$) и минерального ($P_{\text{мин}}$) фосфора – сухим озолением по Сэндерсу и Вильямсу; подвижного фосфора двумя методами – по Чирикову ($P_{\text{ПФ1}}$) в 0,5 М CH_3COOH и по Николову ($P_{\text{ПФ2}}$) в 0,1 М $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5(\text{NH}_4)_2$; легкоподвижного фосфора ($P_{\text{ЛПФ}}$) – по Карпинскому-Замятиной в 0,015 М K_2SO_4 . Фосфор в растениях ($P_{\text{раст}}$) – мокрым озолением в смеси кислот по Гинзбург. **Результаты.** В почвах склона валовой фосфор на 66 – 44% состоит из $P_{\text{орг}}$ и на 34 – 56% из $P_{\text{мин}}$. В сильногумусированных почвах в верхней части склона выявлено наибольшее содержание $P_{\text{вал}}$ и $P_{\text{орг}}$ – 2282 и 1510 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{кг}$. В средней и нижней частях склона в ряду агрочерноземы → агротемно-серые → агросерые почвы установлено постепенное снижение содержания $P_{\text{вал}}$ (2119 → 2002 → 1826 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{кг}$) и $P_{\text{орг}}$ (1033 → 923 → 809 мг $\text{P}_2\text{O}_5/\text{кг}$). Для минерального фосфора и подвижных его форм отмечено, наоборот, более высокое их содержание в среднегумусированных почвах. Различия по запасам надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси на сильно- и среднегумусированных почвах не выявлены. Содержание $P_{\text{раст}}$ составило в среднем 0,60 – 0,92% P_2O_5 , что соответствует оптимальному уровню. **Заключение.** Фосфатное состояние сильно- и среднегумусированных почв, расположенных на разных высотных ступенях эрозионно опасного склона, различается. Для оперативной диагностики фосфорного питания растений на почвах Предсалаирья целесообразно определять $P_{\text{ПФ2}}$ или $P_{\text{ЛПФ}}$.

Ключевые слова: фосфор (валовой, органический, минеральный, подвижный, легкоподвижный); гумус; высотные ступени; фосфор в растениях; Новосибирская область.

Введение

Фосфору принадлежит особая роль среди элементов питания, поскольку он контролирует практически все биохимические процессы жизнедеятельности растений и имеет первостепенное значение в формировании высоких урожаев сельскохозяйственных культур [3, 5, 13]. Фосфор входит в состав минеральных, органических и органоминеральных соединений почвы, соотношение между которыми определяет фосфатное состояние почвы и уровень её плодородия [2, 4, 20].

Территория юго-восточной возвышенной части Западной Сибири благоприятна по почвенно-климатическим условиям для земледелия, однако сильно расчленена, поэтому многие сельскохозяйственные угодья расположены на склонах крутизной 1–3° и более [15]. Распашка склонов способствует развитию эрозионных процессов, что приводит к потерям мелкозема, гумуса, питательных веществ и их перераспределению по элементам рельефа [6, 8, 12, 14], и в конечном итоге происходит значительное снижение плодородия почв, урожайности и качества выращиваемых культур [7, 9, 16, 17]. В последние десятилетия в связи с резким сокращением использования удобрений

и практически полным прекращением работ по защите почв от эрозии усилились процессы антропогенной деградации склоновых земель.

Цель исследования – провести сравнительную оценку фосфатного состояния сильно- и среднегумусированных почв в условиях эрозионно опасного склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на территории Предсалаирской дренированной равнины (Предсалаирье) в лесостепной зоне юго-восточной части Западной Сибири (Новосибирская область, Тогучинский район, с. Усть-Каменка). Приводораздельные и придолинные склоны на данной территории покатые (уклон $2 - 5^{\circ}$) и сильнопокатые (уклон $5 - 10^{\circ}$), что определяет значительную и сильную степень опасности развития водной эрозии, особенно в весенне-летний период [15].

Участок пахотного угодья площадью 225 га и протяженностью 4 км занимает территорию водосборных бассейнов рек Ирба и Хайрузовка. На участке выделены склоновые позиции на следующих высотных ступенях (абсолютные отметки высот): верхняя часть склона – BC_I (280 – 310 м); средняя – BC_{II} (260 – 280 м) и BC_{III} (220 – 260 м); нижняя – BC_{IV} (190 – 220 м). На исследуемой территории распространены оподзоленные и выщелоченные черноземы, темно-серые и серые лесные почвы по классификации 1977 года [10], что соответствует агрочерноземам, агротемно-серым и агросерым почвам по классификации 2004 года [11] (табл. 1).

Таблица 1

Преобладающие почвы на территории исследования

Table 1

Predominant soils in the study area

Название почв по классификации России [11] The name of soils according to Russian classification [11]	Формула профиля Profile formula	Название почв по WRB [19] The name of soils according to WRB [19]
Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювиированный насыщенный сильногумусированный тяжелосуглинистый ($AЧ_{ГII}^{\ominus}$)	PU – AUel – BI – BICca – Cca	Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювиированный насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый ($AЧ_{ГII}^{\ominus}$)	PU – AUel – BI – BICca – Cca	Luvic Greyzemic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агрочернозем глинисто-иллювиальный тёмноязыковатый насыщенный среднегумусированный тяжелосуглинистый ($AЧ_{ГII}^{\ominus}$)	PU – AU – BI _{yu} – BICca – Cca	Haplic Chernozems (Siltic, Aric, Pachic)
Агротемно-серая насыщенная среднегумусированная тяжелосуглинистая (AC_T^{\ominus})	PU – AUel – BEL – BT – C	Luvic Greyzemic Phaeozems (Siltic, Aric)
Агросерая ненасыщенная среднегумусированная тяжелосуглинистая (AC^{\ominus})	P – AEL – BEL – BT – C	Greyzemic Phaeozems (Siltic, Aric)

Отбор индивидуальных почвенных проб ($n = 55$) проведен буром из слоя 0 – 30 см (пахотный горизонт) по нерегулярной сетке; запасы надземной фитомассы (ЗНФ) овсяно-гороховой смеси ($n = 38$) – методом укусов с учетной площади $0,25 \text{ м}^2$.

Почвы проанализированы на содержание валового ($P_{\text{вал}}$), органического ($P_{\text{орг}}$) и минерального ($P_{\text{мин}}$) фосфора методом сухого озоления по Сэндерсу и Вильямсу [20]; подвижного фосфора двумя методами – по Чирикову ($P_{\text{ПФ1}}$) в $0,5 \text{ М } \text{CH}_3\text{COOH}$ и по Николу ($P_{\text{ПФ2}}$) в $0,1 \text{ М } \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5(\text{NH}_4)_2$; легкоподвижного фосфора ($P_{\text{ЛПФ}}$) – по

Карпинскому-Замятиной в 0,015 М K_2SO_4 ; обменных катионов (Ca^{2+} и Mg^{2+}) – в ацетатно-аммонийном буферном растворе; гумуса – в серно-хромовой смеси по Тюрину; фосфор в растениях ($P_{раст}$) – в смеси кислот по Гинзбург [4, 13]. Содержание фосфора представлено на его оксид (P_2O_5) и рассчитано на воздушно-сухую массу.

Результаты и обсуждение

Согласно группировке почв по содержанию гумуса [11] агрочерноземы в верхней части склона (BC_I) относятся к сильногумусированным (5 – 8%); агрочерноземы, агротемно-серые и агросерые почвы в средней и нижней частях склона (BC_{II-IV}) – к среднегумусированным (3 – 5%). Вниз по склону в почвах выявлено снижение содержания гумуса в 1,5 – 2,0 раза (табл. 2), что может способствовать ухудшению структуры, снижению поглощательной и водоудерживающей способности почв [8, 9, 15]. Почвы характеризовались слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды, тяжелосуглинистым гранулометрическим составом. Распределение фракций физической глины неравномерно, что связано, по-видимому, с избирательным выносом почвенного материала при стоке талых и ливневых вод. Так, в среднегумусированных почвах вниз по склону от BC_{II} к BC_{IV} установлено уменьшение содержания средне- и мелкопылеватых частиц и увеличение доли илистой фракции. Перераспределение и селективный вынос почвенных частиц, обладающих высокой поглощательной способностью и обогащенных элементами питания, отмечены в работах многих исследователей на эрозионно опасных склонах [6, 7, 14].

Территория на юго-востоке Западной Сибири, в состав которой входит Предсалаирье, является зоной геохимического проявления апатитов и фосфоритов [2, 5]. Почвы отличаются повышенным содержанием валового фосфора (0,22 – 0,26%), который на 52% состоит из органических фосфатов и на 48% из минеральных. Однако требуется разработка приемов по мобилизации почвенных запасов фосфора, так как доступность растениям подвижных форм элемента низкая. В проведенном исследовании содержание валового фосфора в почвах склона составило в среднем 0,18 – 0,23%, который на 64 – 44% был представлен органическими фосфатами и на 34 – 56% минеральными. Доля $P_{ПФ1}$ составила в среднем 11% от $P_{вал}$ и 22% от $P_{мин}$, доля $P_{ПФ2}$ была значительна ниже – 2% от $P_{вал}$ и 4% от $P_{мин}$. Выявлены тесные положительные корреляции между $P_{вал}$ и $P_{орг}$ ($r = 0,83$ при $p < 0,01$ и $n = 55$), $P_{мин}$ и $P_{ПФ1}$ ($r = 0,74$), $P_{ПФ2}$ и $P_{ППФ}$ ($r = 0,59$), а также гумуса с $P_{вал}$ ($r = 0,79$) и $P_{орг}$ ($r = 0,87$). Наибольшее содержание $P_{вал}$ и $P_{орг}$ установлено в сильногумусированных почвах в верхней части склона (BC_I), тогда как в среднегумусированных почвах вниз по склону (BC_{II-IV}) отмечено постепенное снижение данных показателей в ряду агрочерноземы → агротемно-серые → агросерые почвы (табл. 2, рис. 1 А). Для минерального фосфора и подвижных его форм выявлено, наоборот, более высокое содержание в среднегумусированных почвах (рис. 1 Б, Г). Возможно, это связано с иммобилизацией фосфора (включение в состав гумуса и труднорастворимых фосфатов кальция и магния), так как в почвах в верхней части склона существенно выше содержание гумуса, обменных кальция и магния. Отрицательные корреляции заметной и высокой силы связи $P_{мин}$ и $P_{ПФ1}$ с гумусом ($r = -0,59$ и $-0,78$), органическим фосфором ($r = -0,71$ и $-0,67$), обменным кальцием ($r = -0,45$ и $-0,63$) и обменным магнием ($r = -0,59$ и $-0,83$) подтверждают данное предположение. Подобная закономерность по снижению содержания валового фосфора и увеличению подвижных его форм в смытых почвах Западной Сибири по сравнению с несмытыми, а также тесная связь $P_{вал}$ с гумусом были отмечены и ранее [14, 16].

На основе многолетних экспериментальных данных и обобщения литературы сибирскими учеными были разработаны рекомендации по оптимизации фосфатного

режима почв Западной Сибири [1, 2, 3]. Шкала обеспеченности почв Предсалаирья $P_{ПФ1}$ (по Чирикову) представлена следующими уровнями: 70 – 120 мг/кг – низкий, 120 – 190 – средний, > 200 – высокий. Обеспеченность почв $P_{ПФ2}$ (по Николову): < 18 мг/кг – низкий уровень, 18 – 35 – средний, 36 – 52 – повышенный, > 52 – высокий; $P_{ЛПФ}$ (по Карпинскому-Замятиной): < 0,35 мг/кг – низкий уровень; 0,36 – 0,65 – средний; 0,66 – 1,0 – повышенный; 1,1 – 1,5 – высокий; > 1,5 – очень высокий.

Таблица 2
Варьирование показателей свойств почв и параметров растительности¹

Table 2

Variation of soil properties and vegetation parameters¹

Показатель Indicator	Высотные ступени и преобладающие почвы ² / Altitude and soils ²			
	BC _I (280-310 м)	BC _{II} (260-280 м)	BC _{III} (220-260 м)	BC _{IV} (190-220 м)
	АЧ _{ГИ} ^Э +АЧ _{ГИ} ^Т (n = 16)	АЧ _{ГИ} ^Э +АЧ _{ГИ} ^Т (n = 14)	АС _Т ^Э (n = 13)	АС ^Э (n = 12)
Параметры плодородия почв / Soil fertility parameters				
Гумус, % / Humus, %	<u>7.37 ± 1.49</u> 3,67 – 9,14	<u>5.02 ± 1.18*</u> 3,50 – 6,81	<u>3.66 ± 0.69*</u> 2,48 – 5,00	<u>3.60 ± 0.94*</u> 1,98 – 5,28
pH _{H2O}	<u>5.84 ± 0.18</u> 5,55 – 6,16	<u>5.72 ± 0.14**</u> 5,46 – 5,95	<u>5.73 ± 0.16</u> 5,40 – 5,96	<u>5.83 ± 0.17</u> 5,47 – 6,09
Физическая глина, % / Physical clay, %	<u>49.9 ± 3.0</u> 44,2 – 57,0	<u>45.4 ± 3.0*</u> 41,0 – 51,7	<u>44.3 ± 1.9*</u> 40,1 – 46,5	<u>49.5;48.8;46.6</u> 46,2 – 59,9
Ил, % / Silt, %	<u>16.7 ± 3.8</u> 11,9 – 25,5	<u>15.4 ± 3.0</u> 11,6 – 20,6	<u>17.6;18.6;18.4</u> 10,4 – 20,5	<u>22.7;21.8;23.1*</u> 18,1 – 33,5
Са ²⁺ , смоль(экв) кг ⁻¹ / Ca ²⁺ , smol(+) kg ⁻¹	<u>20.5 ± 2.8</u> 13,7 – 23,9	<u>16.8 ± 2.7*</u> 12,3 – 21,7	<u>15.5 ± 2.4*</u> 12,7 – 20,9	<u>17.7;18.8;13*</u> 13,2 – 21,1
Мг ²⁺ , смоль(экв) кг ⁻¹ / Mg ²⁺ , smol(+) kg ⁻¹	<u>4.0 ± 0.4</u> 2,9 – 4,8	<u>2.8 ± 0.4*</u> 2,1 – 3,5	<u>2.6 ± 0.4*</u> 1,7 – 3,3	<u>2.9;2.9;2.6*</u> 2,6 – 3,5
Фосфатное состояние почв / Phosphate state of soils				
P _{вал} , мг кг ⁻¹ / P _{tot} , mg kg ⁻¹	<u>2282 ± 291</u> 1865 – 2747	<u>2119 ± 259</u> 1656 – 2481	<u>2002 ± 215*</u> 1514 – 2357	<u>1826 ± 208*</u> 1398 – 2206
P _{орг} , мг кг ⁻¹ / P _{org} , mg kg ⁻¹	<u>1510 ± 305</u> 994 – 2050	<u>1033 ± 360*</u> 355 – 1636	<u>923 ± 231*</u> 559 – 1297	<u>809 ± 291*</u> 284 – 1233
P _{мин} , мг кг ⁻¹ / P _{min} , mg kg ⁻¹	<u>772;731;692</u> 584 – 1219	<u>1086;971;889*</u> 825 – 1519	<u>1079;1079;1125*</u> 919 – 1455	<u>1017 ± 227*</u> 710 – 1514
P _{ПФ1} , мг кг ⁻¹ / P _{A1} , mg kg ⁻¹	<u>131 ± 37</u> 73 – 206	<u>238;231;206*</u> 174 – 371	<u>266 ± 37*</u> 208 – 341	<u>231 ± 44*</u> 144 – 291
P _{ПФ2} , мг кг ⁻¹ / P _{A2} , mg kg ⁻¹	<u>26;25;11</u> 7 – 62	<u>28;25;26</u> 13 – 66	<u>42;37;37*</u> 37 – 71	<u>41 ± 16*</u> 20 – 65
P _{ЛПФ} , мг кг ⁻¹ / P _{БА} , mg kg ⁻¹	<u>0.30;0.21;0.32</u> 0,16 – 0,78	<u>0.30;0.23;0.07</u> 0,07 – 1,37	<u>0.53;0.50;0.37</u> 0,15 – 1,22	<u>0.46;0.23;0.46</u> 0,02 – 1,10
Доля P _{орг} от P _{вал} , % / Portion of P _{org} from P _{tot} , %	<u>66 ± 7</u> 53 – 78	<u>48 ± 14*</u> 20 – 66	<u>46 ± 8*</u> 28 – 56	<u>44;49;38*</u> 16 – 56
Доля P _{мин} от P _{вал} , % / Portion of P _{min} from P _{tot} , %	<u>34 ± 7</u> 22 – 47	<u>52 ± 14*</u> 34 – 80	<u>54 ± 8*</u> 44 – 72	<u>56 ± 13*</u> 44 – 84
Запасы надземной фитомассы (ЗНФ) и содержание фосфора в овсяно-гороховой смеси Above-ground phytomass (AGP) and phosphorus content in oat-pea mixture (P_{plant})				
ЗНФ, г/м ² / AGP, g/m ²	<u>134 ± 29</u> 78 – 190 (n = 16)	<u>144 ± 32</u> 102 – 210 (n = 14)	<u>172 ± 37</u> 143 – 214 (n = 3)	<u>143;154;165</u> 92 – 165 (n = 5)
P _{раст} , % / P _{plant} , %	<u>0.73 ± 0.11</u> 0,50 – 0,92	<u>0.60 ± 0.09*</u> 0,48 – 0,76	<u>0.80 ± 0.07</u> 0,73 – 0,82	<u>0.92 ± 0.09*</u> 0,82 – 1,08

¹над чертой для нормально распределенных данных указаны среднее значение и стандартное отклонение ($M \pm s$), для ненормально распределенных данных – среднее значение, медиана и мода (M ; Me ; Mo); под чертой – диапазон значений ($min - max$); n – объем выборки. ²обозначения почв – см. табл. 1.

* – показатели, статистически значимо отличающиеся от таковых на BC_I при $p < 0,01$; ** – отличия значимы при $p < 0,05$.

¹ above the line for the normally distributed data were indicated the mean and standard deviation ($M \pm s$), for the non-normally distributed data were the mean, median and mode (M ; Me ; Mo); below the line – the range of values ($min - max$); n – is the sample size. ² indicate of soils – see table 1.

* – indicators that are statistically significantly different from those on the BC_I at $p < 0,01$; ** – differences are significant at $p < 0,05$. Phosphorus: total (P_{tot}), organic (P_{org}), mineral (P_{min}), available (P_{A1} , ext. by 0,5 M CH_3COOH and P_{A2} , ext. by 0,1 M $C_4H_4O_5(NH_4)_2$), easily available (P_{EA} , ext. by 0,015 M K_2SO_4).

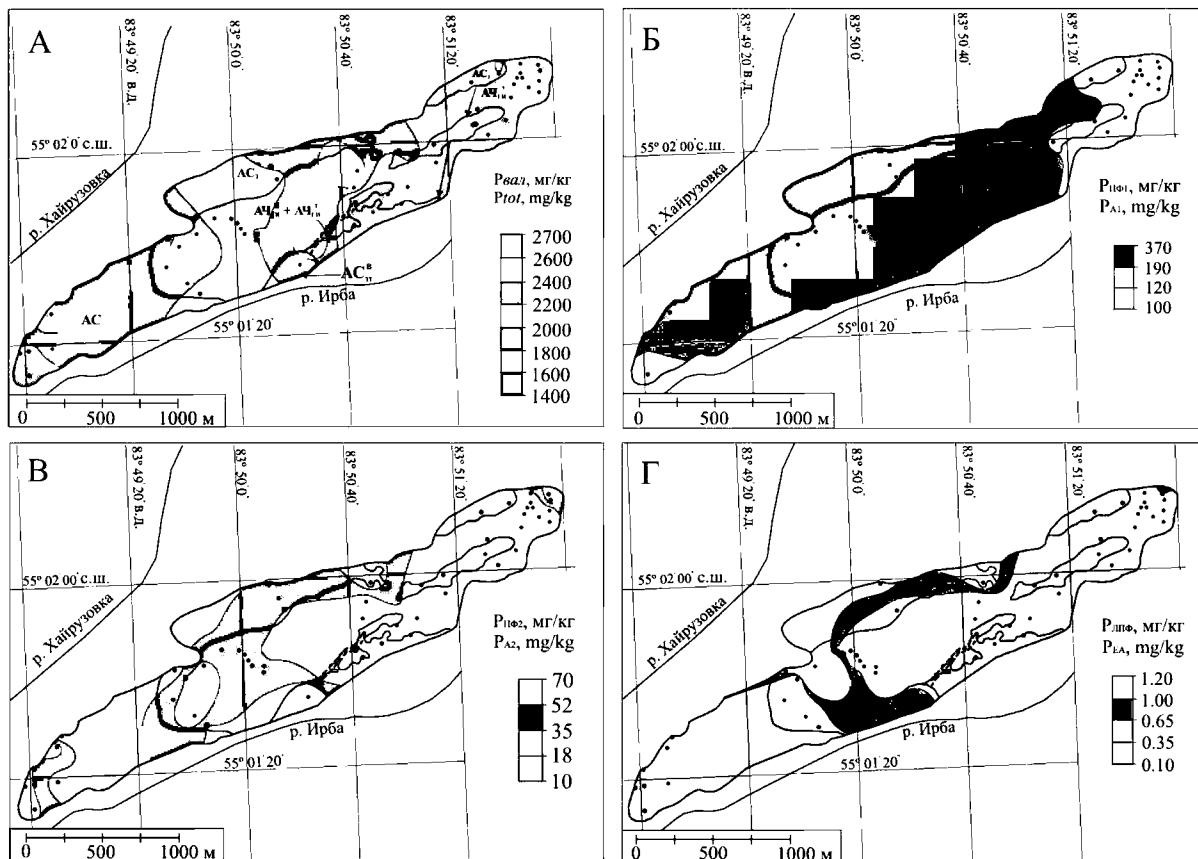


Рис. 1 – Фосфатное состояние почв склонового агроландшафта

Fig. 1 – Phosphate status of soils of the slope agricultural landscape

Условные обозначения: сплошной линией показаны контуры почв, расположенные на разных гипсометрических уровнях; пунктирной – ложбина стока; точками – схема отбора почвенных проб. Обозначение почв – см. табл. 1.

Legend: the solid line shows the contours of the soil, located at different hypsometric levels; dotted – hollow of runoff; dots – scheme of sampling soil samples. Indicate of soils, see table 1.

В соответствии с выше приведенными градациями уровень обеспеченности сильногумусированных почв фосфором по содержанию $P_{ПФ1}$ средний, среднегумусированных – высокий (табл. 2, рис. 1 Б). Уровень обеспеченности фосфором агрочерноземов в верхней (BC_I) и средней (BC_{II}) частях склона соответствовал среднему по $P_{ПФ2}$ и низкому по $P_{ЛПФ}$; агротемно-серых и агросерых почв в средней (BC_{III}) и нижней (BC_{IV}) частях склона – повышенному по $P_{ПФ2}$ и среднему по $P_{ЛПФ}$ (рис. 1 В, Г). В ранее проведенных исследованиях на почвах Предсалаирья установлено, что внесение фосфорных удобрений повышает урожайность сельскохозяйственных культур даже при значительных запасах фосфора,

так как в почвах преобладают малодоступные растениям высокоосновные фосфаты кальция и их окклюдированные формы [1, 2, 5].

Существенных различий в ЗНФ овсяно-гороховой смеси между сильно- и среднегумусированными почвами на разных позициях склона не выявлено (табл. 2). Содержание фосфора в растениях было оптимальным [4, 18] с наибольшими значениями на агросерой почве в нижней части склона. Установлены положительные корреляции ЗНФ травосмеси с $P_{ПФ1}$ ($r = 0,33$ при $p < 0,05$ и $n = 55$) и $P_{ППФ}$ ($r = 0,41$), а также между содержанием $P_{раст}$ и $P_{ПФ1}$ ($r = 0,33$), $P_{раст}$ и $P_{ППФ}$ ($r = 0,41$).

Заключение

Таким образом, в почвах склонового агроландшафта Предсалаирья на юго-востоке Западной Сибири выявлено, с одной стороны, существенное снижение содержания валового и органического фосфора от сильногумусированных почв в верхней части склона к среднегумусированным почвам в средней и нижней частях склона, с другой стороны, увеличение содержания минерального фосфора и подвижных его форм (по Чирикову и по Николову). В среднегумусированных почвах вниз по склону отмечено постепенное снижение валового и органического фосфора в ряду агрочерноземы → агротемно-серые → агросерые почвы. Установленные корреляции свидетельствуют о тесной положительной связи между фосфором: валовым и органическим, минеральным и подвижным по Чирикову, подвижным по Николову и легкоподвижным по Карпинскому-Замятиной.

Различия по запасам надземной фитомассы овсяно-гороховой смеси на сильно- и среднегумусированных почвах не выявлены, содержание фосфора в растениях соответствовало оптимальному уровню. Для оперативной диагностики фосфорного питания растений на почвах Предсалаирья из трех рассмотренных методов целесообразнее использовать в качестве экстрагента 0,1 М $C_4H_4O_5(NH_4)_2$ по Николову (подвижный фосфор) или 0,015 М K_2SO_4 по Карпинскому-Замятиной (легкоподвижный фосфор). Специфику фосфатного состояния почв необходимо учитывать при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий с целью получения планируемого урожая и эффективного использования природных и производственных ресурсов с сохранением почвенного плодородия.

Благодарности

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкина С.С., Синещиков В.Е., Ткаченко Г.И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2011. № 11–12. С. 5–10.
2. Аверкина С.С., Науменко И.В. Изучение агрохимии фосфора на почвах Западной Сибири // Инновации и продовольственная безопасность. 2017. № 2 (16). С. 49–70.
3. Антитина Л.П., Малыгина Л.П., Южаков А.И., Потцов С.П. Оптимизация фосфатного режима почв Новосибирской области: Метод. рекомендации / ВАСХНИЛ. Сибирское отделение. СибНИИЗХим. Новосибирск, 1990. 21 с.
4. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.

5. Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений / Гамзиков Г.П., Ильин В.Б., Назарюк В.М. и др. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. 254 с.
6. Губина Д.А. Изменение гранулометрического состава пахотных почв подтаежной зоны Томской области при водной эрозии // Плодородие. 2014. № 6. С. 23–24.
7. Дубовик Е.В., Дубовик Д.В. Агрохимические свойства серых лесных почв склонового агроландшафта // Агрохимия. 2013. № 11. С. 19–25.
8. Жилко В.В., Жукова И.И., Черныш А.Ф., Цыбулька Н.Н., Тишук Л.А. Потери гумуса и макроэлементов, вызываемые водной эрозией, из дерново-палево-подзолистых почв Белоруссии // Агрохимия. 1999. № 10. С. 41–46.
9. Капитанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. М.: Колос, 1997. 240 с.
10. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
11. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
12. Нечаева Т.В., Гонт Н.В., Савенков О.А., Смирнова Н.В. Калийное состояние почв склонового агроландшафта на юго-востоке Западной Сибири // Земледелие. 2019. № 1. С. 10–14. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10103.
13. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Издательство МГУ, 2001. 689 с.
14. Танасиенко А.А., Якутина О.П., Чумбаев А.С. Содержание фосфора в неэродированных и эродированных черноземах и продуктах твердого стока расчлененной территории Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. № 4. С. 29–35.
15. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009. 349 с.
16. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Режимы основных элементов питания и продуктивность растений на эродированных почвах юга Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. 2011. № 1. С. 16–22.
17. Якутина О.П., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В. Плодородие почв склона, структура и качество урожая яровой пшеницы на юге Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(3). С. 126–142. DOI: 10.31251/pos.v1i3.37
18. Handbook of reference methods for plant analysis / Edited by Yash P. Kalra. Boca Raton, Boston, London, New York, Washington: CRC Press, 1998. 287 pp.
19. 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. №106. Rome: FAO, 2014. 181 p.
20. Soil sampling and methods of analysis / Edited by M.R. Carter and E.G. Gregorich. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis, 2008. 1224 p.

REFERENCES

1. Averkina S.S., Sineshchekov V.E., Tkachenko G.I. Assessment of phosphate determination methods in chernozem soils of Novosibirsk region. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2011. 11–12: 5–10. [In Russian]
2. Averkina S.S., Naumenko I.V. History of the study of agricultural chemistry of phosphorus in soils of Western Siberia. *Innovations and Food Safety*. 2017. 2 (16): 49–70. [In Russian]

3. Antipina L.P., Malygina L.P., Yuzhakov A.I. Popzov S.P. *Optimization of phosphate regime of soils of Novosibirsk region: Method. Recommendations*. VASHNIL. Siberian Branch. SibNIIZHim. Novosibirsk, 1990. 21 p. [In Russian]
4. *Agrochemical soil research methods*. Moscow: Nauka, 1975. 656 p. [In Russian]
5. Agrochemical properties of soil and fertilizer efficiency. Gamzikov G.P., Ilin V.B., Nazariuk V.M. et al (Eds.). Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch, 1989. 254 p. [In Russian]
6. Gubina D.A. Changes of the particle size distribution in arable soils of the subtaiga zone in the Tomsk region under water erosion. *Plodorodie*. 2014. 6: 23–24. [In Russian]
7. Dubovik E.V., Dubovik D.V. Agrochemical properties of gray forest soils in a sloped agrolandscape. *Agricultural Chemistry*. 2013. 11: 19–25. [In Russian]
8. Zhilko V.V., Zhukova I.I., Chernysh A.F., Tsybulka N.N., Tishuk L.A. Losses of humus and macronutrients caused by water erosion from sod-pale-podzolic soils of Belarus. *Agricultural Chemistry*. 1999. 10: 41–46. [In Russian]
9. Kashtanov A.N., Yavtushenko V.E. *Agroecology of soil slopes*. Moscow: Kolos, 1997. 240 p. [In Russian]
10. *Soil classification and diagnostics of the USSR*. Moscow: Kolos, 1977. 224 p. [In Russian]
11. *Soil classification and diagnostics of Russia*. L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova (Eds.). Smolensk: Ecumena, 2004. 342 p. [In Russian]
12. Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Potassium status of the slope agricultural landscape in the south-east of Western Siberia. *Zemledelie*. 2019. 1: 10–14 [in Russian]. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10103
13. *Practical work on Agricultural Chemistry / V.G. Mineev (Ed.)*. Moscow: Moscow State University Publishing House, 2001. 689 p. [In Russian]
14. Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Content of phosphorus in non-eroded and eroded chernozems and sediments of the dissected territory of Western Siberia. *Agrochemistry and ecology problems*. 2017. 4: 29–35. [In Russian]
16. Khmelev V.A., Tanasienko A.A. *Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use*. Novosibirsk: Published by Siberian Branch of RAS, 2009. 349 p. [In Russian]
16. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. The main nutritious regimes and plant production on the eroded soils in the south of West Siberia. *Agrochemistry and ecology problems*. 2011. 1: 16–22. [In Russian]
17. Yakutina O.P., Nechaeva T.V., Smirnova N.V. Fertility of soils on slope, yield structure and quality of spring wheat in the south of Western Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(3): 126–142. [In Russian with English abstract]. DOI: 10.31251/pos.v1i3.37
18. Handbook of reference methods for plant analysis / Yash P. Kalra (Ed.) Boca Raton, Boston, London, New York, Washington: CRC Press, 1998. 287 p.
19. *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. № 106*. Rome: FAO, 2014. 181 p.
20. Soil sampling and methods of analysis. M.R. Carter, E.G. Gregorich (Eds.). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis, 2008. 1224 p.

Nechaeva T.V., Gopp N.V., Savenkov O.A., Smirnova N.V. Phosphate state of soils of the slope agricultural landscape in the south-east of Western Siberia // Works of the State Nikit. Botan. Gard. – 2019. – Vol.148. – P. 68-76.

Abstract. Aim. To carry out a comparative assessment of the phosphate state of highly humus soils in the upper part of the erosion-dangerous slope (altitude is 280 – 310 m a.s.l.) and moderately humus soils in the middle and lower parts of the slope (an altitude is 190 – 280 m a.s.l.). The studied soils are located on a plot of

arable land with square of 225 hectares and 4 km in length in the forest-steppe zone of the south-east of Western Siberia (55°02'20"N, 83°50'00"E) on the territory of the Cis-Salair drained plain. **Methods.** Soils (0 – 30 cm) were analyzed by humus content in sulfur-chromium mixture according to the Tyurin's method; total (P_{tot}), organic (P_{org}) and mineral (P_{min}) phosphorus – by dry ashing according to Sanders and William's methods; available phosphorus by two methods – according to Chirikov (P_{A1}) in 0,5 M CH_3COOH and according to Nikolov (P_{A2}) in 0,1 M $C_4H_4O_5(NH_4)_2$; easily available phosphorus (P_{EA}) – according to Karpinsky-Zamyatin in 0,015 M K_2SO_4 . Phosphorus in plants (P_{plant}) was determined by the wet ashing in a mixture of acids according to Ginzburg's method. **Results.** In soils of the slope, total phosphorus are consists of 66 – 44% of P_{org} and 34 – 56% of P_{min} . On the upper part of the slope in the highly humus soils was determined the most content of P_{tot} and P_{org} – 2282 и 1510 mg P_2O_5/kg . In the middle and lower parts of the slope, the content of P_{tot} (2119 → 2002 → 1826 mg P_2O_5/kg) and P_{org} (1033 → 923 → 809 mg P_2O_5/kg) was gradually reduced in the follow of series of soils: agrochernozems → agro-dark-gray → agro-gray soils. The higher content of the mineral phosphorus and its available forms, on the contrary, was fixed in moderately humus soils. No differences in the above-ground phytomass reserves of the oat-pea mixture on highly and moderately humus soils were identified. Amount of the P_{plant} averaged was near 0,60 – 0,92% P_2O_5 , which corresponds to the optimal level. **Main conclusions.** The phosphate state of highly and moderately humus soils located at the different altitude steps of an erosion dangerous slope are differ. It is advisable to determine the P_{A2} or P_{EA} for the rapid diagnosis of phosphorus nutrition of plants on the Cis-Salair drained plain soils.

Key words: *phosphorus (total, organic, mineral, available, easily available); humus; altitude steps; phosphorus in plants; Novosibirsk region.*