

УДК 631.415:631.482.1

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-57-76

**Ссылки для цитирования:**

Мартынов А. В. Варьирование показателей кислотности в почвах поймы реки Амур // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 57-76. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-57-76

**Cite this article as:**

Martynov A.V., Variation of acid values in floodplain soils of the Amur River, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 57-76, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-57-76

## **ВАРЬИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КИСЛОТНОСТИ В ПОЧВАХ ПОЙМЫ РЕКИ АМУР**

**© 2019 г. А. В. Мартынов**

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Россия,  
37500, г. Благовещенск, пер. Речонный, 1,  
<https://orcid.org/0000-0002-8839-036X>, e-mail: [lexx\\_1981@list.ru](mailto:lexx_1981@list.ru).*

*Поступила в редакцию 17.04.2019, после доработки 15.05.2019,  
принята к публикации 05.09.2019*

Понимание изменчивости кислотных свойств в почвенном покрове пойм необходимо для обеспечения рационального управления пойменными территориями, так как уровень рН является фундаментальным показателем, определяющим концентрацию растворимых и доступных для растений элементов. Выполнено определение актуальной, потенциальной и обменной кислотности в 87 почвенных разрезах, заложенных в пределах верхнего и среднего течения р. Амур. Для характеристики кислотности использовались методы описательной статистики, корреляция и линейная регрессия. Установлено, что кислотность снижается в пойме верхнего и среднего Амура в направлении: аллювиальные болотные (торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые) почвы, остаточные аллювиальные (ржавоземы и брунеземы) почвы, аллювиальные серогумусовые глееватые почвы, аллювиальные серогумусовые. Почвы поймы верхнего Амура, в сравнении с почвами среднего Амура, более кислые, в среднем значение  $pH_{KCl}$  в почвах одного генезиса меньше на 0.2–0.4. Выявлено, что коэффициент регрессии позволяет судить о кислотно-основных функциональных группах почвенных компонентов, формирующих реакцию среды в почвах.

Коэффициент больше единицы указывает на органическую природу кислотности, ниже единицы – на преобладание минеральных кислот.

*Ключевые слова:* актуальная, потенциальная, обменная кислотность, линейная регрессия, река Амур, аллювиальные почвы.

## VARIATION OF ACID VALUES IN FLOODPLAIN SOILS OF THE AMUR RIVER

**A. V. Martynov**

*Institute of Geology and Nature Management  
of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Russia, 37500, Blagoveshchensk, Relochny lane, 1,  
<https://orcid.org/0000-0002-8839-036X>, e-mail: [lexx\\_1981@list.ru](mailto:lexx_1981@list.ru).*

*Received 17.04.2019, Revised 15.05.2019, Accepted 05.09.2019*

Understanding the variability of acidic properties in the soil cover of floodplains is of greatest importance as far as it helps to ensure the rational management of floodplain areas, since the pH level is a fundamental indicator that determines the concentration of soluble and available elements for plants. This article provides the results of actual, potential and exchangeable acidity measurements performed in 87 soil profiles located within the upper and middle reaches of the Amur River. Descriptive statistics, correlation and linear regression were used to characterize acidity. It has been established that acidity decreases in the floodplain of the upper and middle reaches of the Amur River in the following direction: alluvial marsh (peat-gley and humus-gley) soils, residually-alluvial (rzhavozems and brunezems) soils, alluvial gray gley soil, alluvial gray humus. The soils of the upper Amur floodplain are more acidic in comparison with the soils of the middle Amur, the average  $pH_{KCl}$  values in soils with the same genesis of the former are less by 0.2–0.4 than the ones of the latter. It was revealed that the regression coefficient is indicative of the acid-base functional groups of the soil components which are in charge of soil pH. The coefficient greater than 1 points to the organic nature of acidity; below 1 – to the prevalence of mineral acids.

*Keywords:* actual, potential, exchangeable acidity, linear regression, the Amur River, alluvial soils.

### ВВЕДЕНИЕ

Поймы и сформированные на них аллювиальные почвы – уникальный природный объект. Представляя собой равнинные

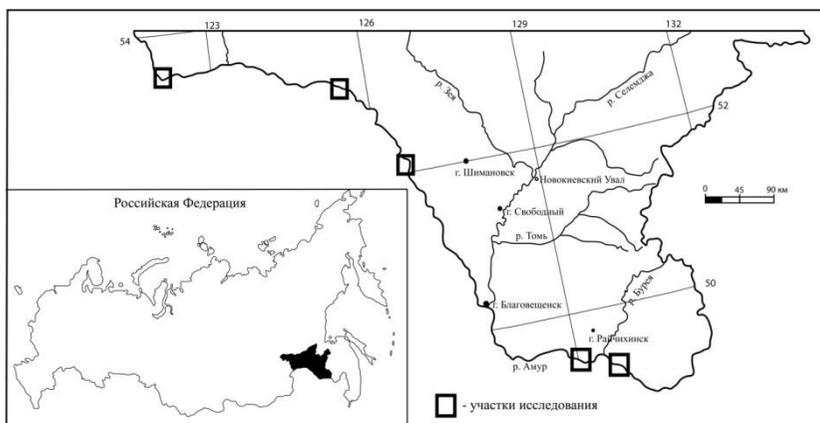
территории, прилегающие к рекам и подверженные периодическому затоплению, поймы являются одним из наиболее важных географических континуумов на Земле ([Bayley, 1995](#)). Также пойма – одна из самых динамичных, сложных и разнообразных экосистем во всем мире ([Wälder et al., 2008](#)). Чередование циклов затопления и осушения обуславливает накопление в почвенном покрове поймы богатых питательными веществами осадков, что гарантирует высокое биоразнообразие пойм и приводит к пространственной и временной неоднородности структуры и функциональности поймы ([Amoros, Bornette, 2002](#)). Уже давно проводятся исследования экосистемных функций пойм для контроля обмена питательными и органическими веществами между водными и наземными экосистемами ([Pinay et al., 1988](#); [Cristofor et al., 1993](#)). Научной основой для этих исследований служит изучение изменчивости почвенных переменных ([Ahmed et al., 2017](#)). Особенно это актуально в отношении такой почвенной переменной как pH, без изучения которой добиться устойчивого управления в области пойменного почвообразования невозможно.

Уровень pH считается фундаментальным показателем, определяющим концентрацию растворимых и доступных для растений элементов ([Caritat, 2011](#)). Однако важность уровня pH определяется не только сама по себе, но и тем фактом, что pH влияет на множество других функций почв: адсорбционную способность силикатных глин, органических веществ и оксидов железа и алюминия; на реакции осаждения и растворения; на окислительно-восстановительный потенциал; на подвижность и распределение коллоидных веществ и образование металлоорганических комплексов. Например, при низких значениях pH оксиды алюминия блокируют соединения фосфора, снижая его доступность для растений, а биодоступность алюминия, железа и марганца может достигать токсического уровня ([Blume et al., 2016](#); [Onwuka, 2016](#)). Поэтому кислотность и характеризующие ее химические и агрохимические показатели широко исследуются и обсуждаются в российской и зарубежной литературе ([Koptsik, 2003](#); [Kokotov, 2004](#); [Чевердин, 2009](#); [Shamrikova et al., 2011](#); [Shamrikova et al., 2013](#); [Caritat, 2011](#); [Onwuka, 2016](#); [Blume et al., 2016](#)).

В отношении кислотного состояния почвенный покров поймы р. Амур, одной из крупнейших рек мира, изучен очень слабо. Частично это связано с ее трансграничным положением, разделением по фарватеру между Россией и Китаем. Также в Амурской области, в пределах которой расположено верхнее и среднее течения р. Амур, основной акцент почвенных исследований смещен в сторону черноземовидных почв и буроземов. Систематические исследования пойменных почв в Амурской области, несмотря на их значительную вовлеченность в хозяйственную сферу, почти не проводились. Сложившаяся ситуация диктует необходимость в детальном изучении рН как почвенного фактора, от которого зависит биоразнообразие и плодородие пойменных почв. Поэтому цель данной работы – охарактеризовать актуальную, потенциальную и обменную кислотность в различных типах пойменных почв верхнего и среднего течения р. Амур.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили аллювиальные и остаточные-аллювиальные почвы, сформированные на территории пяти ключевых участков, расположенных в верхнем и среднем течении р. Амур (рис. 1). Поймы в верхнем течении небольшие по размеру (до 2 км шириной) и относятся к адаптивному типу. Поймы в среднем течении относятся к широкопойменному типу и достигают 15 км в ширину. Всего было заложено 87 почвенных разрезов: 59 в среднем течении и 28 в верхнем течении. Несмотря на то, что в почвенных профилях часто присутствовали переходные горизонты, в данной работе они не учитывались. Были использованы только образцы по генетическим горизонтам, присутствующим во всех пойменных почвах. Образцы взяты в период с 2011 по 2015 гг. в различные месяцы полевое сезона. Названия почв давались в соответствии с классификацией и диагностикой почв России ([Классификация..., 2004](#)). Кислотные свойства почв определялись стандартными методами: актуальная и потенциальная кислотности – потенциометрически по ГОСТ 26483-90; обменная кислотность и подвижный алюминий – методом А.В. Соколова ([Новицкий и др., 2009](#)).



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

**Fig. 1.** Map of the southern part of the Amur Region indicating the study sites.

Определение свойств почв проводилось в аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН. Классификация почв по кислотности определялась в соответствии со шкалой где: рН < 4.0 – очень сильнокислая; рН 4.1–4.5 – сильнокислая; рН 4.6–5.0 – среднекислая; рН 5.1–5.5 – слабокислая; рН 5.6–6.0 – близкая к нейтральной; рН 6.1–7.1 – нейтральная; рН 7.2–7.5 – слабощелочная ([Почвоведение, 1989](#)). Описательная статистика (среднее значение, минимум и максимум выборки, коэффициент вариации, стандартное отклонение и стандартная ошибка), расчет уравнений регрессии и коэффициентов корреляции проводился в программе Excel v. 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели кислотного состояния почв характеризуются значительной пространственной и временной изменчивостью. Соотношение размаха пространственного и временного варьирования изменяется в зависимости от особенностей почв и условий почвообразования (климатических условий, уровня грунтовых вод) ([Shamrikova et al., 2011](#)). Но, несмотря на высокую динамику показателей кислотности, зависимых к тому же от многочислен-

ных почвенных факторов, их изучение позволяет провести первичную оценку кислотного состояния почв.

### **Аллювиальные торфяно-глеевые и аллювиальные перегнойно-глеевые почвы**

Формируются в пойменных депрессиях, чаще всего в пределах притеррасного понижения, вдоль стариц и высохших проток. В структуре почвенного покрова пойм крупных рек Амурской области они могут занимать до 40 % ([Мартынов, 2013](#)). Разница в типе органического горизонта этих почв определяется климатическими условиями, в которых они формируются. В пределах верхнего течения р. Амур суммы положительных температур не достаточно для разложения органического вещества, что наряду с высоким уровнем грунтовых вод способствует консервации органических остатков и формированию торфяного горизонта. В среднем течении р. Амур более высокие температуры приводят к разложению органического вещества до перегноя. Кроме того, разница в скорости разложения органического вещества в болотных почвах может быть обусловлена составом и свойствами грунтовых вод: минерализацией воды, насыщенностью кислородом, величинами pH и Eh ([Рассказов, 2005](#)). Постоянная переувлажненность почв способствует развитию закисных условий и проявлению признаков глеевого процесса. Развитие глеевого процесса, в свою очередь, способствует увеличению содержания подвижного алюминия, закисного железа и снижению содержания кальция ([Зайдельман, 2009](#)), что вызывает значительное подкисление почв. Это подтверждают данные, приведенные в таблице 1, показывающие, что аллювиальные торфяно-глеевые почвы в среднем характеризуются как очень сильнокислые – сильнокислые. Кислотные свойства сильнее проявляются в глеевых горизонтах. Утверждать, что они вызваны увеличением катионов алюминия и водорода затруднительно. Максимальные концентрации  $Al^{3+}$  и  $H^+$  отмечаются в менее кислом торфяном горизонте. Вероятно, повышенная кислотность глеевых горизонтов в данном случае вызвана содержанием различных форм железа, которые являются более сильной кислотой, чем алюминий ([Shamrikova et al., 2011](#)). Также можно отметить, что участие обменного водорода в формировании кислотно-

сти этих почв незначительно. Содержание  $Al^{3+}$  превышает  $H^+$  минимум в 30 раз. Коэффициенты вариации содержания  $Al^{3+}$  и  $H^+$  достигают 95 и 117 соответственно, что отражает высокую пестроту почвенных свойств, характерную для почвенного покрова пойменных массивов ([Wälder et al., 2008](#)). Коэффициент варьирования содержания алюминия увеличивается вниз по профилю, а водорода – вверх по профилю. Это обусловлено приуроченностью ионов водорода к органическому веществу, а ионов алюминия – к глинистым минералам ([Shamrikova et al., 2013](#)). Торфяные горизонты характеризуются более однородными условиями в сравнении с минеральными горизонтами, на что указывают более низкий коэффициент варьирования (V) и стандартная ошибка (SD) актуальной и потенциальной кислотностей. Следует отметить, что значения pH вследствие их логарифмирования характеризуются минимальным варьированием, V для торфяно-глеевых почв не превышают 10 %.

Аллювиальные перегнойно-глеевые почвы среднего течения р. Амур характеризуются сильнокислой реакцией среды, т. е. они менее кислые, чем почвы, формирующиеся в аналогичных условиях в верхнем течении р. Амур (табл. 2). Вероятно, понижение кислотности связано с более теплым климатом и, как следствие, особенностями биологического круговорота  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $K^+$ , участвующих в нейтрализации кислотных компонентов в почвах разных зон и подзон. Суммарное количество основных элементов, ежегодно поступающих с растительными остатками на единицу площади, увеличивается в направлении с севера на юг ([Shamrikova et al., 2011](#)). В отдельных случаях в минеральных горизонтах pH достигает значений выше 7.0, т. е. идет подщелачивание горизонтов. В условиях застойного водного режима, характерного для перегнойно-глеевых почв, подщелачивание горизонтов может происходить вследствие вытеснения в раствор щелочноземельных металлов из кристаллической решетки алюмосиликатов ([Зайдельман, 2009](#)). В случае минерализации грунтовых вод в минеральных горизонтах может происходить обменное поглощение ионов натрия, вызывающее их подщелачивание ([Чевердин, 2009](#)).

**Таблица 1.** Варьирование показателей кислотности почв поймы р. Амур  
**Table 1.** Variation of acidity values in floodplain soils of the Amur River

Показатель	Горизонт	n	$\mu$	$x_{\min}$	$x_{\max}$	SD	V	n	$\mu$	$x_{\min}$	$x_{\max}$	SD	V		
		Верхний Амур							Средний Амур						
		Аллювиальные торфяно-глеевые почвы							Аллювиальные перегнойно-глеевые почвы						
pH <sub>вод</sub>	T	6	5.3	5.1	5.5	0.20	3.7	18	5.5	4.6	6.3	0.46	8.3		
	G	6	5.2	4.8	5.9	0.49	9.3	12	5.9	4.7	6.7	0.67	11.2		
	CG	6	5.5	5.2	6.2	0.39	7.1	12	5.9	4.6	7.4	0.86	14.5		
pH <sub>KCl</sub>	T	6	4.2	4.1	5.4	0.16	3.8	18	4.5	3.7	5.2	0.41	9.2		
	G	6	3.9	3.7	4.4	0.32	8.1	12	4.4	3.6	5.2	0.53	12.3		
	CG	6	4.1	3.7	4.4	0.33	8.2	12	4.5	3.1	6.7	0.96	21.5		
H <sup>+</sup> <sub>обм</sub>	T	6	0.4	0.1	1.2	0.42	95.3	18	0.6	0.1	5.5	1.26	197.8		
	G	6	0.2	0.05	0.6	0.21	94.2	12	0.6	0.03	5.6	1.59	268.9		
	CG	6	0.1	0.05	0.2	0.07	50.1	12	0.6	0.0	5.6	1.61	282.7		
Al <sup>3+</sup> <sub>обм</sub>	T	6	10.8	2.6	30.4	10.08	93.1	18	4.2	0.0	30.4	7.17	171.5		
	G	6	5.8	1.3	16.9	5.85	100.7	12	1.3	0.0	4.8	1.89	140.2		
	CG	6	6.0	0.3	18.0	7.10	117.6	12	1.1	0.0	4.2	1.28	118.5		
		Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы							Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы						
pH <sub>вод</sub>	AУ	5	5.4	5.1	5.5	0.17	3.3	8	5.9	4.8	7.4	0.82	13.8		
	Cg	5	5.4	5.1	5.6	0.25	4.4	8	6.1	5.5	6.9	0.48	8.0		
pH <sub>KCl</sub>	AУ	5	4.2	3.7	4.6	0.34	8.3	8	4.8	3.9	6.2	0.73	15.3		
	Cg	5	3.9	3.6	4.4	0.32	8.4	8	4.5	3.7	5.2	0.51	11.3		
H <sup>+</sup> <sub>обм</sub>	AУ	5	0.3	0.2	0.6	0.17	54.7	8	0.1	0.04	0.3	0.11	65.5		
	Cg	5	0.1	0.1	0.8	0.02	21.8	8	0.06	0.02	0.1	0.04	66.6		
Al <sup>3+</sup> <sub>обм</sub>	AУ	5	10.3	0.1	22.6	10.18	98.5	8	0.7	0.0	2.7	0.93	137.1		
	Cg	5	5.6	0.7	21.8	9.11	161.6	8	0.6	0.0	2.1	0.89	148.3		

Показатель	Горизонт	n	μ	x <sub>min</sub>	x <sub>max</sub>	SD	V	n	μ	x <sub>min</sub>	x <sub>max</sub>	SD	V
		Верхний Амур						Средний Амур					
		Аллювиальные серогумусовые почвы						Аллювиальные серогумусовые почвы					
pH <sub>вод</sub>	AY	19	5.8	4.9	6.5	0.43	7.4	35	6.1	4.7	7.4	0.68	10.9
	C	19	5.7	4.9	6.5	0.46	8.1	41	5.9	4.7	8.1	0.75	12.8
pH <sub>KCl</sub>	AY	19	4.8	3.8	5.9	0.60	12.4	35	5.2	3.3	7.0	0.81	15.6
	C	19	4.3	3.5	5.3	0.52	12.0	41	4.3	3.2	6.6	0.72	16.5
H <sup>+</sup> <sub>обм</sub>	AY	19	0.22	0.03	1.4	0.30	136.3	35	0.2	0.0	0.7	0.17	80.8
	C	19	0.09	0.01	0.2	0.07	72.7	41	0.1	0.0	1.1	0.2	149.9
Al <sup>3+</sup> <sub>обм</sub>	AY	19	1.3	0.0	10.0	2.29	172.1	35	0.9	0.0	7.2	1.80	184.9
	C	19	2.08	0.1	15.8	3.87	186.0	41	1.3	0.0	9.5	2.3	172.4
		Ржавоземы остаточно-аллювиальные						Брунеземы остаточно-аллювиальные					
pH <sub>вод</sub>	AY	4	5.5	5.3	5.7	0.18	3.2	5	5.8	5.0	6.4	0.59	10.1
	BFM	4	5.4	5.2	5.8	0.24	4.8	7	5.8	5.3	6.2	0.27	4.7
	C	4	5.6	4.9	6.1	0.48	8.6	5	6.0	5.4	6.6	0.47	7.9
pH <sub>KCl</sub>	AY	4	4.6	3.7	5.2	0.64	14.0	5	4.8	3.9	5.2	0.51	10.8
	BFM	4	4.1	3.7	4.6	0.39	9.8	7	3.9	3.4	4.5	0.40	10.2
	C	4	4.1	3.7	4.7	0.42	10.2	5	4.2	3.9	4.8	0.34	8.0
H <sup>+</sup> <sub>обм</sub>	AY	4	0.4	0.09	0.9	0.39	103.3	5	0.2	0.1	0.4	0.11	49.1
	BFM	4	0.2	0.06	0.4	0.13	72.2	7	0.2	0.03	1.2	0.43	178.6
	C	4	0.2	0.03	0.5	0.21	104.6	5	0.1	0.03	0.4	0.15	115.5
Al <sup>3+</sup> <sub>обм</sub>	AY	4	1.1	0.2	0.2	1.12	104.5	5	0.8	0.1	2.7	1.13	148.6
	BFM	4	0.6	0.2	1.2	0.49	76.4	7	1.5	0.02	4.8	1.64	110.2
	C	4	1.5	0.09	4.9	2.21	141.8	5	0.6	0.04	2.2	0.95	160.3

Повышению рН может способствовать восстановление  $\text{Fe}^{3+}$ , входящего в состав гидроксидов, которое происходит с потреблением  $\text{H}^+$  ([Ponnamperuma, 1967](#)). В сравнении с торфяно-глеевыми почвами верхнего Амура, в перегнойно-глеевых почвах снижена значимость в формировании обменной кислотности катионов  $\text{Al}^{3+}$ . Содержание  $\text{Al}^{3+}$  варьирует от 1 до 4 мг-экв на 100 г почвы, тогда как содержание  $\text{H}^+$  увеличилось и может достигать 5–6 мг-экв/100 г почвы. Более того, для показателей кислотности почв среднего Амура характерны более высокие значения  $V$ , достигающие 21 для  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , для  $\text{H}^+$  – 280 и для  $\text{Al}^{3+}$  – 170. Это может свидетельствовать как о более разнородных условиях почвообразования, так и являться следствием более крупной выборки. Доверительный интервал для рН и  $\text{H}^+$  в перегнойно-глеевых почвах выше, чем в торфяно-глеевых, но  $\text{SD Al}^{3+}$  почти в два раза ниже. Следовательно, несмотря на высокий  $V$ , в перегнойно-глеевых почвах содержание алюминия чаще близко к среднему значению.

Большую важность имеет информация о соотношении  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , определяемом природой кислотно-основных функциональных групп почвенных компонентов и отражающим специфику процессов почвообразования ([Shamrikova et al., 2013](#); [Ефремова, 2018](#)). В кислых почвах чем больше разница в значениях рН, тем кислее почва ([Соколова, 1993](#)). Эта разница наглядно отражается в сильно кислых аллювиальных торфяно-глеевых и перегнойно-глеевых почвах, где линейная корреляция между этими показателями варьирует по профилю с 0.80 до 0.91, а тангенс угла наклона – от 0.7 до 0.9, составляя в целом для почвы 0.7 (табл. 2). Поскольку  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$  вытесняются катионами  $\text{K}^+$ , можно ожидать линейную зависимость между концентрацией  $\text{H}^+$  и  $\text{Al}^{3+}$  в растворе и в ППК. Близость тангенса угла наклона к единице свидетельствует о равной селективности преобладающего катиона в горизонте к  $\text{K}^+$  ( $\text{H}^+$  – в органогенных горизонтах,  $\text{Al}^{3+}$  – в минеральных) ([Shamrikova et al., 2013](#)). Снижение тангенса угла ниже единицы указывает на подкисление почв, выше единицы – на подщелачивание. Поскольку в болотных почвах наблюдается низкое содержание катионов  $\text{H}^+$ , то данный тангенс угла отражает селективность почвы по отношению к катионам  $\text{Al}^{3+}$ .

**Таблица 2.** Показатели взаимосвязи значений  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$  в аллювиальных почвах  
**Table 2.** The relationship between  $pH_{H_2O}$  and  $pH_{KCl}$  in alluvial soils

Горизонты	Уравнение линейной регрессии	Коэффициент детерминации	Коэффициент корреляции
Аллювиальные торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые почвы			
Т-Н	$y = 0.72 pH_{H_2O} + 0.50$	$R^2 = 0.65$	0.80
G	$y = 0.67 pH_{H_2O} + 0.40$	$R^2 = 0.83$	0.91
CG	$y = 0.95 pH_{H_2O} - 1.18$	$R^2 = 0.77$	0.88
Почва в целом	$y = 0.73 pH_{H_2O} + 0.21$	$R^2 = 0.65$	0.81
Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы			
AУ	$y = 0.94 pH_{H_2O} - 0.78$	$R^2 = 0.91$	0.95
Cg	$y = 0.92 pH_{H_2O} - 1.07$	$R^2 = 0.81$	0.89
Почвы в целом	$y = 0.91 pH_{H_2O} - 0.79$	$R^2 = 0.78$	0.88
Аллювиальные серогумусовые почвы			
AУ	$y = 1.16 pH_{H_2O} - 1.88$	$R^2 = 0.86$	0.93
C	$y = 0.84 pH_{H_2O} - 0.64$	$R^2 = 0.77$	0.88
Почва в целом	$y = 1.02 pH_{H_2O} - 1.39$	$R^2 = 0.69$	0.84
Буроземы и брунеземы остаточно-аллювиальные			
AУ	$y = 0.86 pH_{H_2O} - 0.19$	$R^2 = 0.53$	0.73
BFM-ВМ	$y = 0.39 pH_{H_2O} + 1.77$	$R^2 = 0.17$	0.41
C	$y = 0.55 pH_{H_2O} + 0.97$	$R^2 = 0.59$	0.77
Почва в целом	$y = 0.58 pH_{H_2O} + 0.96$	$R^2 = 0.24$	0.49

Также значительную роль в подкислении могут играть соединения  $\text{Fe}^{3+}$  ([Shamrikova et al., 2013](#)), в большом количестве содержащиеся в аллювиальных почвах Приамурья ([Зимовец, 1967](#)).

### **Аллювиальные серогумусовые почвы**

Самый распространенный тип почв в поймах крупных рек Амурской области. Может занимать до 80 % от площади поймы. Формируются на пологих равнинных участках и на вершинах пойменных гряд в пределах центральной и приустьевой поймы. Уровень залегания грунтовых вод в большинстве случаев расположен ниже почвенного профиля.

В верхнем течении значения pH аллювиальных серогумусовых почв изменяются в среднем от сильнокислой до близкой к нейтральной реакции среды с усилением кислотности вниз по профилю. Обменная кислотность представлена преимущественно  $\text{Al}^{3+}$ , содержание которого снижается вниз по профилю в среднем от 1 до 2 мг-экв/100 г почвы, с максимумом в минеральном горизонте до 15 мг-экв/100 г. Содержание  $\text{H}^+$  варьирует от 0.1 до 1.4 с максимумом в гумусово-аккумулятивном горизонте. В среднем течении, так же, как у болотных почв, наблюдается снижение кислотности, обусловленное более высокой биомассой растительности и, как следствие, повышенным содержанием оснований, попадающих в почву. Максимальная величина pH достигает 7, минимальная – 3.2 с подщелачиванием в гумусово-аккумулятивном горизонте. Обменная кислотность варьирует от 0 до 10 с преобладанием обменного алюминия.

Линейная корреляция между  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  и по горизонтам и в почвах в целом высокая, составляя в среднем 0.88. Кислотность в гумусово-аккумулятивном горизонте преимущественно обусловлена органическими кислотами, способными в равной мере растворяться в водной и солевой вытяжках, что подтверждается величиной тангенс угла больше единицы. Коэффициенты вариации и SD  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  более высокие в среднем течении. Варьирование значений  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{H}^+$  в среднем также выше в почвах среднего течения, но их SD ниже. Высокие значение V и SD в почвах среднего течения, в сравнении с почвами верхнего течения, можно связать с геоморфологическим строением и возрастом пойменных

массивов. В верхнем течении поймы адаптивно-врезанные, небольшие по размеру, чаще подвержены затоплению и, как следствие, обновлению почвенного профиля и усреднению почвенных параметров. В среднем течении почвы поймы широкопойменного типа, развивающиеся на протяжении длительного времени и испытывающие значительное влияние зональных процессов в области центральной поймы, при сохранении влияния интразональных процессов в прирусловой пойме, что в совокупности привело к сильной пестроте почвенного покрова и варьированию почвенных свойств.

### **Аллювиальные серогумусовые глееватые почвы**

Являются подтипом аллювиальных серогумусовых почв и служат промежуточным звеном между серогумусовыми и серогумусовыми глеевыми почвами. Формируются в небольших понижениях центральной и прирусловой поймы и могут составлять до 20–30 % от территории занимаемой аллювиальными серогумусовыми почвами. Основное их отличие от типичных серогумусовых почв – это наличие слабых признаков глеевого процесса в их почвенном профиле, что предполагает незначительный застойный режим. В этой связи следует ожидать повышения кислотности почв и увеличение содержания обменного алюминия.

В аллювиальных серогумусовых глееватых почвах верхнего Амура средняя реакция среды снижается вниз по профилю с 4.2 до 3.9 с минимумом в 3.7 и максимум 6.2. Обменная кислотность представлена обменным алюминием, содержание которого более чем в 10 раз превышает содержание обменного водорода. Сравнивая с серогумусовыми почвами верхнего Амура, видно, что даже незначительное развитие глеевого процесса приводит к снижению рН в среднем на 0.4 и увеличению обменного алюминия в два раза.

В среднем течении разрыв между  $pH_{KCl}$  серогумусовых почв и серогумусовых глееватых почв меньше чем в почвах верхнего Амура и в среднем составляет 0.2. Обменная кислотность варьирует от 0 до 3 мг-экв/100 г с преобладанием  $Al^{3+}$ . Характерной особенностью аллювиальных серогумусовых глееватых почв является сниженное в два раза содержание катиона  $Al^{3+}$  в сравнении

с серогумусовыми почвами. Следовательно, подкисление почв осуществляется за счет других компонентов, вероятно, за счет более высокого содержания  $\text{Fe}^{3+}$ .

Корреляция между  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  и по горизонтам и в почвах в целом высокая, составляя в среднем 0.90. Общее уравнение линейной регрессии для аллювиальных серогумусовых почв подтверждает преимущественно кислую – слабокислую реакцию среды с незначительным преобладанием вклада минеральных и органико-минеральных кислот и компонентов. Значения V и SD для всех исследуемых переменных более высокие для почв поймы среднего Амура.

### **Ржавоземы остаточно-аллювиальные и брунеземы остаточно-аллювиальные**

Эти почвы представляют собой заключительный этап эволюции аллювиальных почв после их выхода из сферы влияния интразональных процессов. Ржавоземы формируются на аллювии преимущественно в северных районах Амурской области под лесной растительностью. Брунеземы развиваются в южных районах под луговой растительностью. Брунеземы или лугово-бурые почвы отсутствуют в классификации и диагностике почв России и фигурируют преимущественно в дальневосточных классификациях почв ([Ознобихин, 1994](#)). Характерная черта этих почв заключается в их развитии под одновременным влиянием лугового и буроземообразующего процессов.

Для ржавоземов характерно изменение реакции среды от очень сильнокислой до среднекислой. Обменная кислотность небольшая, до 5 мг-экв/100 г с преобладанием  $\text{Al}^{3+}$ . Сильнокислая реакция среды при незначительном содержании обменных  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{H}^+$ , вероятно, обусловлена накоплением большого количества железа в этих почвах и фульватным составом гумуса ([Иванов, 1976](#)). Брунеземы менее кислые, чем ржавоземы, и характеризуются варьированием значений  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  от 3.9 до 5.2 с минимумом в структурно-метаморфическом горизонте. В брунеземах также слабо развито присутствие  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{H}^+$ , суммарное содержание которых достигает максимум 6 мг-экв/100 г почвы с преобладанием  $\text{Al}^{3+}$ . Кислая реакция среды в них обусловлена оглиниванием средней

части профиля по монтмориллонитовому типу с высвобождением свободных оксидов железа, придающих почвам буроватые тона, и формированием фульватно-гуматного типа гумуса ([Куликов, 2013](#)).

Корреляция между  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$  высокая в гумусово-аккумулятивном и почвообразующем горизонте, но низкая в структурно-метаморфическом и в почве в целом. Вероятно, в структурно-метаморфическом горизонте компоненты, отвечающие за наличие связей между  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$ , к которым относятся органическое вещество и алюмоорганические соединения ([Shamrikova et al., 2013](#)), слабо участвуют в формировании кислотности. Слабая корреляция между  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$  в структурно-метаморфическом горизонте и почвы в целом отразилась и на уравнении линейной регрессии, в котором тангенс угла указывает на очень сильно кислую реакцию среды, но низкий коэффициент детерминации говорит о недостоверности этого уравнения. В гумусово-аккумулятивном горизонте уравнение линейной регрессии указывает на кислую реакцию среды, а в почвообразующем горизонте на сильно кислую с преобладанием минеральных кислот. Коэффициент вариации  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$  в ржавоземах и буроземах ниже, чем в аллювиальных почвах, что указывает на более однородные условия формирования этих почв в сравнении с аллювиальными почвами. Для  $Al^{3+}$  и  $H^+$  показатель  $V$  остается высоким, сопоставимым с аллювиальными почвами. Доверительные интервалы для всех переменных в ржавоземах и брунеземах также сопоставимы с аллювиальными почвами и не позволяют сделать каких-либо заключений.

## ВЫВОДЫ

Генезис аллювиальных почв отражает высокую степень варьирования значений  $pH_{H_2O}$  и  $pH_{KCl}$ , а также содержания  $Al^{3+}$  и  $H^+$ , что выражается в высоких коэффициентах вариации, которые для  $pH$  составляют от 3 до 20 и для  $Al^{3+}$  и  $H^+$  – от 50 до 280. В целом кислотность снижается в пойме верхнего и среднего Амура в направлении: аллювиальные болотные (торфяно-глеевые и перегнойно-глеевые) почвы (3.9–4.2), остаточные аллювиальные (ржавоземы и брунеземы) почвы (3.9–4.6), аллювиальные серогумусо-

вые глееватые почвы (3.9–4.8), аллювиальные серогумусовые (4.3–5.2). Почвы поймы верхнего Амура более кислые, в среднем значение  $pH_{KCl}$  меньше на 0.2–0.4, тогда как почвы среднего течения характеризуются более интенсивным варьированием значений  $pH$ ,  $Al^{3+}$  и  $H^+$ , что указывает на более разнородные условия почвообразования. В аллювиальных почвах кислотность преимущественно обусловлена органическими кислотами и катионами  $Al^{3+}$ , в остаточно-аллювиальных ржавоземах и брунеземах, вероятно, – соединениями железа. Коэффициент регрессии позволяет судить о кислотно-основных функциональных группах органического вещества, формирующих реакцию среды почв. Коэффициент больше единицы указывает на органическую природу кислотности, ниже единицы – на преобладание минеральных кислот.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В., Аврова А.Ф.* Высотная дифференциация кислотно-основных свойств долинных торфяных почв Кузнецкого Алатау // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 41. С. 135–155. DOI: [10.17223/19988591/41/8](https://doi.org/10.17223/19988591/41/8).
2. *Зайдельман Ф.Р.* Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДУ, 2009. 720 с.
3. *Зимовец Б.А.* Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М.: Изд-во “Наука”, 1967. 165 с.
4. *Иванов Г.И.* Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Изд-во “Наука”, 1976. 200 с.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
6. *Куликов А.Я.* Почвенные ресурсы. Минск: Высшая школа, 2013. 319 с.
7. *Мартынов А.В.* Структура почвенного покрова поймы крупных рек Амурской области (на примере рр. Зея и Селемджа) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 2. С. 108–116.
8. *Новицкий М.В., Донских И.Н., Чернов Д.В.* Лабораторно-практические занятия по почвоведению. СПб: Проспект Науки, 2009. 320 с.
9. *Ознобихин В.И., Синельников Э.П., Рыбачук Н.А.* Классификация и агропроизводственные группировки почв Приморского края. Владивосток: ДВО РАН, 1994. 93 с.
10. Почвоведение / Под ред. *Кауричева И.С.* М.: Агропромиздат, 1989. 719 с.

11. *Расказов Н.М.* Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 4. С. 55–58.
12. *Сokolova Т.А.* Химические основы мелиорации кислых почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 182 с.
13. *Чевевердин Ю.И., Зборищук Ю.Н.* Закономерности изменения показателей кислотности черноземов каменной степи // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2009. № 4. С. 22–25.
14. *Ahmed H.M.T., Siddique M. Iqbal, Hussain F.* Comparative study of interpolation methods for mapping soil pH in the apple orchards of Murree, Pakistan // Soil and Environment. 2017. Vol. 36. No. 1. P. 70–76. DOI: [10.25252/SE/17/41154](https://doi.org/10.25252/SE/17/41154).
15. *Amoros C., Bornette G.* Antagonistic and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riverine wetlands. // Arch. Hydrobiol. Suppl. 1999. Vol. 11. No. 3. P. 311–327. DOI: [10.1127/Ar/11/1999/311](https://doi.org/10.1127/Ar/11/1999/311).
16. *Bayley P.B.* Understanding large river – floodplain ecosystems // Bioscience. 1995. Vol. 45. No. 3. P. 153–158.
17. *Blume H.-P., Brummer G.W., Horn R., Kandeler E., Kogel-Knabner I., Kretschmar R., Stahr K., Wilke B.-M. Scheffer / Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde.* Berlin: Springer. Heidelberg. 2000. 574 p.
18. *Cariat P., Cooper M., Wilford J.* The pH of Australian soils: field results from a national survey // Soil Research. 2011. Vol. 49. No. 2. P. 173–182. DOI: [10.1071/SR10121](https://doi.org/10.1071/SR10121).
19. *Cristofor S., Vadineanu A., Ignat G.* Importance of flood zones for nitrogen and phosphorus dynamics in the Danube Delta // Hydrobiologia. 1993. Vol. 251. No. 1–3. P. 143–148. DOI: [10.1007/BF00007174](https://doi.org/10.1007/BF00007174).
20. *Kokotov Y.A., Sukhacheva E.Y., Aparin B.F.* Acidity field of soils as ion-exchange systems and the diagnostics of genetic soil horizons // Eurasian Soil Science. 2014. Vol. 47. No. 12. P. 1227–1237. DOI: [10.7868/S0032180X14120077](https://doi.org/10.7868/S0032180X14120077).
21. *Koptsik G.N., Livantsova S.Yu.* Acidity and cation exchange properties of forest soils in the Russkii Sever National Park // Eurasian Soil Science. 2003. Vol. 63. No. 6. P. 599–609.
22. *Onwuka M.I., Ozurumba U.V., Nkwocha O.S.* Changes in Soil pH and Exchangeable Acidity of Selected Parent Materials as Influenced by Amendments in South East of Nigeria // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2016. Vol. 4. P. 80–88. DOI: [10.4236/gep.2016.45008](https://doi.org/10.4236/gep.2016.45008).

23. Pinay G., Black V.J., Planty-Tabacchi A.M., Gumiero B., Décamps H. Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils // *Biogeochemistry*. 2000. Vol. 50. P. 163–182. DOI: [10.1023/A:1006317004639](https://doi.org/10.1023/A:1006317004639).
24. Ponnampereuma F.N. Effects of Flooding on Soils, In: *Flooding and plant growth*, London: Academic Press. 1984, P. 9–46.
25. Shamrikova E.V., Kazakov V.G., Sokolova T.A. Variation in the acid-base parameters of automorphic loamy soils in the taiga and tundra zones of the Komi Republic // *Eurasian Soil Science*. 2011. Vol. 44. No. 6. P. 641–653. DOI: [10.1134/S1064229311060111](https://doi.org/10.1134/S1064229311060111).
26. Shamrikova E.V., Sokolova T.A. Correlations between different acidity forms in amorphous loamy soils of the tundra and taiga zones // *Eurasian Soil Science*. 2013. Vol. 46. No. 5. P. 505–517. DOI: [10.1134/S1064229313050116](https://doi.org/10.1134/S1064229313050116).
27. Thomson C.J., Marschner H., Romheld V. Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean // *Journal of Plant Nutrition*. 1993. Vol. 16. P. 493–506. DOI: [10.1080/01904169309364548](https://doi.org/10.1080/01904169309364548).
28. Wälder K., Wälder O., Rinklebe J., Menz J. Estimation of soil properties with geostatistical methods in floodplains // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2008. Vol. 54. P. 275–295. DOI: [10.1080/03650340701488485](https://doi.org/10.1080/03650340701488485).

## REFERENCES

1. Efremova T.T., Efremov S.P., Melent'eva N.V., Avrova A.F. Vysotnaya differentsiatsiya kislотно-osnovnykh svoystv dolinnykh torfyanykh pochv Kuznetskogo Alatau (Altitude differentiation of acid-base properties of valley peat soils of the Kuznetsk Alatau), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Biologiya*, 2018, No. 41, pp. 135–155, DOI: [10.17223/19988591/41/8](https://doi.org/10.17223/19988591/41/8).
2. Zaidelman F.R., *Genesis i ekologicheskie osnovy melioratsii pochv i lanshaftov* (Genesis and ecological fundamentals of soil and landscape reclamation), Moscow: KDU, 2009, 720 p.
3. Zimovets B.A., *Pochvenno-geokhimicheskie protsessy mussonno-merzlotnykh lanshaftov* (Soil-geochemical processes of monsoon-frozen landscapes), Moscow: Izd-vo "Nauka", 1967, 165 p.
4. Ivanov G.I., *Pochvoobrazovanie na yuge Dal'nego Vostoka* (Soil formation in the south of the Far East), Moscow: Izd-vo "Nauka", 1976, 200 p.
5. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 341 p.

6. Kulikov A.Ya., *Pochvennye resursy* (Soil resources), Minsk: Vysshaya shkola, 2013, 319 p.
7. Martynov A.V. Struktura pochvennogo pokrova pojmy krupnyh rek Amurskoj oblasti (na primere rek Zeya i Selemdzha) (Soil cover structure of bottomland of major river in the Amur region (exemplified by the Zeya and Selemdja Rivers)), *Vestnik SVNC DVO RAN*, 2013, No. 2, pp. 108–116.
8. Novitskii M.V., Donskikh I.N., Chernov D.V., *Laboratomo-prakticheskie zanyatiya po pochvovedeniyu* (Laboratory and practical classes in soil science), St. Petersburg: Prospekt Nauki, 2009, 320 p.
9. Oznobikhin V.I., Sinel'nikov E.P., Rybachuk N.A., *Klassifikatsiya i agroproduktivnyye gruppirovki pochv Primorskogo kraja* (Classification and agro-industrial groups of soils of the Primorsky krai), Vladivostok: DVO RAN, 1994, 93 p.
10. Kaurichev I.S., *Pochvovedenie* (Soil Science), Moscow: Agropromizdat, 1989, 719 p.
11. Rasskazov N.M., Osnovnye osobennosti khimicheskogo sostava bolotnykh vod (na primere yugo-vostochnoi chasti Zapadnoi Sibiri) (The main features of the chemical composition of swamp waters (by the example of the southeast of Western Siberia)), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2005, Vol. 308, No. 4, pp. 55–58.
12. Sokolova T.A., *Khimicheskie osnovy melioratsii kislykh pochv* (Chemical basis of acid soil reclamation), Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1993, 182 p.
13. Cheverdin Yu.I., Zborishchuk Yu.N., Zakonomernosti izmeneniya pokazatelei kislotnosti chernozemov kamЕННОI stepi (Patterns of change in the acidity indicators of chernozem stone steppe), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Pochvovedenie*, Ser. 17, 2009, No. 4, pp. 22–25.
14. Ahmed H.M.T., Siddique M. Iqbal, Hussain F., Comparative study of interpolation methods for mapping soil pH in the apple orchards of Murree, Pakistan, *Soil and Environment*, 2017, Vol. 36, No. 1, pp. 70–76, DOI: [10.25252/SE/17/41154](https://doi.org/10.25252/SE/17/41154).
15. Amoros C., Bornette G., Antagonistic and cumulative effects of connectivity: a predictive model based on aquatic vegetation in riverine wetlands, *Arch. Hydrobiol. Suppl.*, 1999, Vol. 11, No. 3, pp. 311–327, DOI: [10.1127/lr/11/1999/311](https://doi.org/10.1127/lr/11/1999/311).
16. Bayley P.B., Understanding large river – floodplain ecosystems, *Bioscience*, 1995, Vol. 45, No. 3, pp. 153–158.
17. Blume H.-P., Brummer G.W., Horn R., Kandler E., Kogel-Knabner I., Kretschmar R., Stahr K., Wilke B.-M., *Scheffer / Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*, Berlin: Springer, Heidelberg, 2000, 574 p.

18. Caritat P., Cooper M., Wilford J., The pH of Australian soils: field results from a national survey, *Soil Research*, 2011, Vol. 49, No. 2, pp. 173–182, DOI: [10.1071/SR10121](https://doi.org/10.1071/SR10121).
19. Cristofor S., Vadineanu A., Ignat G., Importance of flood zones for nitrogen and phosphorus dynamics in the Danube Delta, *Hydrobiologia*, 1993, Vol. 251, No. 1–3, pp. 143–148, DOI: [10.1007/BF00007174](https://doi.org/10.1007/BF00007174).
20. Kokotov Y.A., Sukhacheva E.Y., Aparin B.F., Acidity field of soils as ion-exchange systems and the diagnostics of genetic soil horizons, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 12, pp. 1227–1237, DOI: [10.7868/S0032180X14120077](https://doi.org/10.7868/S0032180X14120077).
21. Koptsik G.N., Livantsova S.Yu., Acidity and cation exchange properties of forest soils in the Russkii Sever National Park, *Eurasian Soil Science*, 2003, Vol. 63, No. 6, pp. 599–609.
22. Onwuka M.I., Ozurumba U.V., Nkwocha O.S., Changes in Soil pH and Exchangeable Acidity of Selected Parent Materials as Influenced by Amendments in South East of Nigeria, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 2016, Vol. 4, pp. 80–88, DOI: [10.4236/gep.2016.45008](https://doi.org/10.4236/gep.2016.45008).
23. Pinay G., Black V.J., Planty-Tabacchi A.M., Gumiero B., Décamps H., Geomorphic control of denitrification in large river floodplain soils, *Biogeochemistry*, 2000, Vol. 50, pp. 163–182, DOI: [10.1023/A:1006317004639](https://doi.org/10.1023/A:1006317004639).
24. Ponnampereuma F.N., Effects of Flooding on Soils, In: *Flooding and plant growth*, London: Academic Press, 1984, pp. 9–46.
25. Shamrikova E.V., Kazakov V.G., Sokolova T.A., Variation in the acid-base parameters of automorphic loamy soils in the taiga and tundra zones of the Komi Republic, *Eurasian Soil Science*, 2011, Vol. 44, No. 6, pp. 641–653, DOI: [10.1134/S1064229311060111](https://doi.org/10.1134/S1064229311060111).
26. Shamrikova E.V., Sokolova T.A., Correlations between different acidity forms in amorphous loamy soils of the tundra and taiga zones, *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 46, No. 5, pp. 505–517, DOI: [10.1134/S1064229313050116](https://doi.org/10.1134/S1064229313050116).
27. Thomson C.J., Marschner H., Romheld V., Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean, *Journal of Plant Nutrition*, 1993, Vol. 16, pp. 493–506, DOI: [10.1080/01904169309364548](https://doi.org/10.1080/01904169309364548).
28. Walder K., Walder O., Rinklebe J., Menz J., Estimation of soil properties with geostatistical methods in floodplains, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2008, Vol. 54, pp. 275–295, DOI: [10.1080/03650340701488485](https://doi.org/10.1080/03650340701488485).