

## Агрохимия

УДК 631.416

### ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ВАНАДИЯ В ПОЧВАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Владимир Ильич Панасин<sup>1</sup>, Михаил Иванович Вихман<sup>2</sup>,  
Денис Сергеевич Чечулин<sup>3</sup>, Дмитрий Андреевич Рымаренко<sup>4</sup>

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
236022, РФ, г. Калининград, Советский проспект, д. 1  
ФГБУ «Центр агрохимической службы «Калининградский»  
236038, РФ, г. Калининград, ул. Молодой Гвардии, д. 4

<sup>1</sup> – проф. каф. агрономии, д. с.-х. н., проф.; e-mail:panasin1938@mail.ru

<sup>2</sup> – д. б. н., директор ФГБУ «ЦАС «Калининградский»; e-mail:agrohim\_39@mail.ru

<sup>3</sup> – гл. агроном КФХ «Калина»

<sup>4</sup> – к. б. н., гл. агрохимик отд. научно-технического развития ФГБУ «ЦАС «Калининградский»

*Установлены закономерности накопления подвижных соединений ванадия в аллювиальных дерновых и аллювиально-болотных почвах. Выявлены зависимости содержания ванадия от гранулометрического состава почв, содержания органического вещества и кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса. Определены особенности накопления подвижных соединений ванадия в гумусово-аккумулятивных горизонтах. Представлены данные о содержании подвижного ванадия в дерново-подзолистых почвах. Основными факторами, определяющими содержание подвижного ванадия, являются водно-воздушный режим и содержание органического вещества.*

Ключевые слова: почвы, ванадий, подвижные соединения, гранулометрический состав, органическое вещество, кислотно-основные свойства.

Ванадий является весьма важным микроэлементом для ряда растений, а также животных и человека [1]. Ванадий выступает специфическим катализатором в процессе фиксации молекулярного азота симбиотическими бактериями рода *Rhizobium*, где может замещать молибден в качестве переносчика промежуточного продукта (NH<sub>2</sub>OH) [1], при этом на сильнокислых почвах эффективность молибдена и ванадия одинакова, на слабокислых и нейтральных почвах максимальная эффективность ванадия достигает 50–80% от эффективности молибдена [2].

К настоящему времени накоплен весьма обширный материал о зависимости валового содержания большинства микроэлементов, а также содержания их подвижных соединений от минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород и почв Калининградской области, их кислотно-основных свойств, содержания и состава органического вещества, окислительно-восстановительных условий, способа и интенсивности сельскохозяйственного использования и ряда других факторов [3–5]. Однако о содержании подвижных соединений ванадия в почвах региона информации недостаточно. С середины 2000-х годов нами начаты исследования закономерностей распределения

валового ванадия и его подвижных соединений в аккумулятивных горизонтах почв сельскохозяйственных угодий [6, 7]. На первом этапе объектами исследования были дерново-подзолистые окультуренные и дерновые глеевые почвы. Превышения предельно допустимой концентрации валового ванадия не было выявлено. В целом исследованные почвы несколько обеднены валовым ванадием по сравнению с почвами Русской равнины. Нами были установлены зависимости содержания валового и подвижного ванадия от гранулометрического состава и ряда других физико-химических и агрохимических свойств. В последующем начато изучение закономерностей накопления подвижных соединений ванадия в аллювиальных минеральных и аллювиально-болотных почвах.

**Методика.** В качестве объектов исследования выбраны расположенные на территории Лава-Прегольской и Полесской низменностей дерново-подзолистые окультуренные почвы разной степени увлажнения, сформированные на моренных, водно-ледниковых и озерно-ледниковых отложениях, а также дерновые глеевые на аналогичных породах. Кроме этого, были изучены аллювиальные дерновые почвы различной степени оглеения, а также аллювиально-болотные иловато-

## 1. Статистическая характеристика агрохимических свойств исследованных почв (общая выборка)

Свойство	Среднее значение	Стандартное отклонение	Ошибка среднего	Коэффициент вариации, %
pH <sub>KCl</sub>	5,44	0,77	0,08	14,3
Гидролитическая кислотность, ммоль/100г	7,1	10,5	1,1	148,7
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100г	32,5	39,1	4,1	120,0
Органическое вещество, %	8,7	10,7	1,3	123,3
Подвижный P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг	211	162	17	76,6
Подвижный K <sub>2</sub> O, мг/кг	227	126	13	55,3

перегноино-глеевые и аллювиально-болотные торфянисто-глеевые на древнеаллювиальных, водно-ледниковых отложениях, а также на погребенном торфе. Исследованные аллювиальные почвы расположены в пойме среднего течения реки Преголя, в пойме реки Дейма и в пойме низовой реки Лава. Территория исследований включает основно-моренный, южный подпруженный и древнеаллювиальный геоморфологические районы. Особенности почвообразования и ряд свойств почв региона исследования описаны в литературе [4, 8–10].

Пробы почв отбирали из пахотных и гумусово-аккумулятивных горизонтов по ГОСТ 28168-89 [11].

Определение физико-химических и агрохимических свойств проводили в ИЛ ФГБУ «ЦАС «Калининградский» по стандартным гостированным методикам, принятым в агрохимической службе [12–18]. Определение гранулометрического состава по [19]. Подвижные соединения двух- и трехвалентного железа определяли по Веригиной – Аринушкиной [20]. Подвижные соединения ванадия извлекали оксалатным буферным раствором Григга при pH 3,3. Содержание ванадия определяли по Виноградову в модификации Добрицкой [21].

Всего отобрано и проанализировано свыше 200 образцов. В выборку вошли дерново-подзолистые автоморфные, дерново-подзолистые глееватые, дерново-подзолистые глеевые и дерновые глеевые (рассмотрены совместно), аллювиальные дерновые и аллювиальные органогенные почвы. По гранулометрическому составу минеральные почвы представлены от песчаных до тяжелосуглинистых разновидностей. Средняя величина pH<sub>KCl</sub> в выборке дерново-подзолистых и дерновых глеевых почв составила 5,5±0,1 единиц pH, по выборке аллювиальных минеральных – 4,9±0,1; по выборке органогенных – 5,5±0,2. Содержание органического вещества в пересчете на гумус в дерново-подзолистых и дерновых глеевых почвах составило 2,9±0,2%, в аллювиальных дерновых – 4,8±0,67%. Сравнение приведенных данных со средними показателями для аналогичных

почв Калининградской области позволяет сделать вывод о репрезентативности выборки.

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами с использованием программы Microsoft Excel [22, 23]. Рассчитывали коэффициенты линейной корреляции (r) между содержанием подвижного ванадия и другими физико-химическими и агрохимическими свойствами почв. Для уточнения формы зависимости между изучаемыми величинами рассчитывали также корреляционное отношение (η). Полученные значения оценивали по t-критерию Стьюдента на 5% и 1% уровнях значимости. Нелинейность связи устанавливали по критерию Фишера.

**Результаты и обсуждение.** Среднее содержание подвижного ванадия в общей выборке составило 9,3±0,73 мг/кг. Установлена слабая прямая корреляционная связь между содержанием подвижного ванадия и органического вещества (r = +0,22±0,10; t<sub>факт</sub> = 2,09); подвижным ванадием и суммой поглощенных оснований (r = +0,21±0,10; t<sub>факт</sub> = 2,00); а также между емкостью катионного обмена и подвижным ванадием (r = +0,21±0,10; t<sub>факт</sub> = 2,00). Полученные коэффициенты достоверны на 5%-ном уровне значимости. С остальными физико-химическими и агрохимическими свойствами линейная корреляционная связь не достоверна.

Прослеживается нелинейная зависимость между содержанием органического вещества и подвижного ванадия (η = 0,37±0,10), существенная на 1%-ном уровне значимости. Корреляционное отношение между pH<sub>KCl</sub> и содержанием подвижного ванадия (η = 0,27±0,10) существенно на 5%-ном уровне значимости. Отсутствие тесных линейных связей между содержанием подвижного ванадия и другими свойствами почв, а также нелинейный характер связи ванадия с гумусом могут указывать на различные механизмы фиксации микроэлемента в минеральных и органогенных почвах. Кроме того, возможно, что на накопление подвижных соединений ванадия оказывают влияние водно-воздушный режим, кислотно-основные свойства или некоторые другие факторы.

## 2. Содержание подвижного ванадия в почвах различного генезиса, мг/кг

Почвы	Среднее содержание	Ошибка среднего	Коэффициент вариации, %
Дерново-подзолистые автоморфные	5,4	0,88	65,2
Дерново-подзолистые глееватые	5,8	0,53	49,9
Дерново-подзолистые глеевые и дерновые глеевые	9,9	1,58	54,8
Всего дерново-подзолистые и дерновые	6,0	1,33	59,3
Аллювиальные минеральные	9,7	1,04	59,0
Аллювиальные органогенные	17,2	2,63	59,0
Все аллювиальные	14,4	3,25	59,9

С целью установления закономерностей накопления микроэлемента в почвах различного генезиса нами было определено содержание подвижного ванадия по отдельным таксономическим группам почв (табл. 2).

Вследствие поливалентности ванадия условия его фиксации в почвах в значительной мере определяются почвообразовательными процессами водно-воздушным режимом. По содержанию подвижного ванадия выделяются три группы почв: 1) дерново-подзолистые автоморфные и глееватые; 2) дерново-подзолистые глеевые, дерновые глеевые и аллювиальные минеральные; 3) аллювиальные органогенные. Различия между содержанием ванадия в указанных группах достоверны на 1%-ном уровне значимости. Таким образом, усиление анаэробнозиса и соответственное снижение окислительно-восстановительного потенциала способствует накоплению подвижных соединений ванадия.

Зависимости содержания подвижных соединений ванадия от некоторых физико-химических и агрохимических свойств дерново-подзолистых почв достаточно подробно были описаны нами ранее [7]. Далее рассмотрим закономерности накопления подвижных соединений ванадия в аллювиальных почвах. Для выявления форм связи и зависимости содержания подвижного ванадия от органического вещества и кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса на первом этапе все разновидности аллювиальных почв были объединены в одну группу. Коэффициент линейной корреляции между содержанием органического вещества и подвижного ванадия ( $r = +0,34 \pm 0,18$ ) оказался статистически недостоверен. Корреляционное отношение ( $\eta = 0,71 \pm 0,13$ ) достоверно на 1% уровне значимости. Таким образом, между содержанием подвижного ванадия и органического вещества существует стохастическая нелинейная связь. Формы связи ванадия с гумусовыми веществами определяются окислительно-восстановительным потенциалом, обуславливающим термодинамическую устойчивость соединений трех- или четырехвалентного

ванадия, содержанием и составом минеральных коллоидов в аллювиально-дерновых почвах, а также кислотно-основными свойствами почв. Последние, в силу амфотерности  $VO_2$ , обуславливают в зависимости от pH преимущественное накопление катионных или анионных производных четырехвалентного ванадия.

Между величиной  $pH_{KCl}$  и содержанием подвижного ванадия наблюдается положительная линейная корреляционная связь ( $r = +0,55 \pm 0,16$ ), достоверная на 1% уровне значимости. Корреляционное отношение между этими величинами составляет  $0,74 \pm 0,12$ , достоверно на 1% уровне значимости. По критерию Фишера нелинейность значима на пятипроцентном уровне, но недостоверна на однопроцентном уровне значимости ( $F_{0,05} = 2,56$ ;  $F_{0,05} = 3,76$ ;  $F_{факт} = 3,25$ ).

Нелинейность зависимости содержания подвижного ванадия от  $pH_{KCl}$  косвенно подтверждается формой связи с другими характеристиками кислотно-основных свойств почвенного поглощающего комплекса. Между емкостью катионного обмена и содержанием подвижного ванадия линейная корреляция слабая и недостоверная ( $r = +0,29$ ), тогда как корреляционное отношение достоверно на 1% уровне значимости и составляет  $0,66 \pm 0,14$ . Различие между корреляционным отношением и коэффициентом линейной корреляции существенно ( $F_{0,05} = 2,56$ ,  $F_{факт} = 2,86$ ). Сходная закономерность прослеживается по зависимости содержания подвижного ванадия от суммы поглощенных оснований – коэффициент линейной корреляции мал и статистически недостоверен ( $r = +0,33 \pm 0,18$ ), хотя корреляционное отношение существенно при 1% уровне значимости ( $\eta = 0,53 \pm 0,16$ ;  $t_{факт} = 3,31$ ).

Прослеживается зависимость между степенью насыщенности основаниями и содержанием подвижного ванадия. Как и в предыдущих случаях, зависимость статистически достоверна и существенно нелинейна ( $r = +0,22$ ;  $\eta = 0,69 \pm 0,14$ ;  $t_{факт} = 5,00$ ,  $t_{0,01} = 3,67$ ;  $F_{факт} = 6,79$ ,  $F_{0,01} = 4,57$ ). Таким образом, многообразие валентных состояний ванадия и амфотерность его четырехвалентных

## 3. Содержание подвижного ванадия в почвах различного гранулометрического состава, мг/кг

Гранулометрический состав	Среднее значение	Ошибка среднего	Коэффициент вариации, %
Песок	3,5	0,40	16,2
Супесь	7,0	2,19	37,9
Легкий суглинок	7,2	2,67	64,3
Средний суглинок	9,8	1,00	14,1
Тяжелый суглинок	15,3	4,64	46,4

производных обуславливает нелинейность зависимости содержания подвижных соединений V от кислотно-основных свойств почв. Причиной этого, по-видимому, является различие механизмов связывания соединений трех- и четырехвалентного ванадия почвенным поглощающим комплексом.

Для более корректного установления закономерностей содержания подвижных соединений ванадия от свойств почв минеральные и органо-генные почвы рассматривали отдельно. В минеральных почвах прослеживается зависимость накопления подвижного ванадия от гранулометрического состава (табл. 3).

Между содержанием физической глины и подвижного ванадия установлена положительная линейная корреляция ( $r = +0,60 \pm 0,23$ ), это значение несколько выше установленного нами для дерново-подзолистых почв ( $r = +0,51 \pm 0,10$  [6]), однако различия статистически недостоверны. Корреляционное отношение между содержанием частиц физической глины и подвижного ванадия несколько выше ( $\eta = 0,69 \pm 0,21$ ; ( $t_{\text{факт}} = 3,33$ ;  $t_{0,05} = 3,05$ ), но различие между  $r$  и  $\eta$  статистически недостоверно.

Как и для общей выборки аллювиальных почв, в аллювиальных дерновых почвах между содержанием подвижного ванадия и величиной  $pH_{KCl}$  существует нелинейная зависимость. Коэффициент линейной корреляции между  $pH_{KCl}$  и подвижным ванадием мал по абсолютной величине и статистически недостоверен ( $r = +0,07$ ). Однако корреляционное отношение  $\eta = 0,55 \pm 0,24$  достоверно на 5% уровне значимости ( $t_{\text{факт}} = 2,29$ ). Уменьшение содержания подвижного ванадия при  $pH_{KCl}$  4,7–4,9 может быть, на наш взгляд, обусловлено осаждением и необменной химической адсорбцией соединений четырехвалентного ванадия вблизи изоэлектрической точки  $VO_2(OH)_2$ . Не исключено также окисление соединений ванадия при близких к нейтральным значениям pH до производных  $V^{+5}$ , подвижность которых гораздо выше.

По-видимому, в кислой среде поглощение ванадия в какой-то степени происходит по механизму катионного обмена, что, на наш взгляд, может подтверждаться зависимостью содержания подвижного ванадия от суммы поглощенных основа-

ний. Коэффициент линейной корреляции между этими параметрами близок к нулю и недостоверен ( $r = +0,08$ ), а корреляционное отношение существенно на 1% уровне значимости ( $\eta = 0,73 \pm 0,20$ ). Существенная нелинейность связи возникает, на наш взгляд, вследствие различий в механизмах сорбции восстановленных и окисленных производных V в условиях слабокислой и нейтральной среды. Преобладание в выборке кислых почв, в которых термодинамически стабильны восстановленные соединения ванадия, обуславливает существенную ( $r = +0,74 \pm 0,22$ ) корреляцию между подвижным V и железом, извлекаемым 0,1 н. серно-кислотной вытяжкой.

Специфика поглощающего комплекса органо-генных почв обуславливает концентрацию ванадия в аллювиальных дерновых и аллювиально-болотных почвах [1, 24]. Относительно высокие значения коэффициентов вариации содержания подвижного ванадия свидетельствуют о существенном влиянии на накопление подвижного ванадия ряда факторов, в число которых, по-видимому, входят ботанический состав растений-торфообразователей, минералогический состав отлагавшегося аллювия, а также динамика окислительно-восстановительного потенциала в верхних горизонтах рассматриваемых почв.

Как и для минеральных почв, просматривается зависимость содержания подвижного ванадия от величины  $pH_{KCl}$  (табл. 4). Коэффициент линейной корреляции между  $pH_{KCl}$  и содержанием подвижного ванадия в аллювиально-болотных почвах выше, чем в аллювиальных дерновых ( $r = +0,43$ ), однако он недостоверен при 1% уровне значимости. Корреляционное отношение ( $\eta = 0,59 \pm 0,21$ ) указывает на существенно нелинейную связь между этими величинами, однако, в отличие от минеральных почв, снижения содержания подвижного ванадия в интервале pH 4,7–4,9 не наблюдается. Вероятно, это может быть связано как с иными механизмами сорбции соединений четырехвалентного ванадия в кислой среде, так и возможностью восстановления их в кислой среде при характерных для болотных почв относительно низких значениях Eh до катиона  $VO^+$ .

4. Зависимость содержания подвижного ванадия (мг/кг) от величины рН<sub>KCl</sub> в органогенных почвах

рН <sub>KCl</sub>	Среднее содержание	Ошибка среднего	Коэффициент вариации, %
4,4 – 4,5	8,7	2,70	62,1
4,6 – 5,2	16,1	2,98	37,0
5,3 – 5,9	19,1	3,45	36,1
6,0 – 6,9	24,8	5,73	46,2

Отмечается тенденция к росту содержания подвижного ванадия по мере нейтрализации почвенного поглощающего комплекса. Связь между степенью насыщенности основаниями и подвижным V достоверна при 5% уровне значимости ( $r = +0,50 \pm 0,23$ ;  $t_{\text{факт}} = 2,17$ ), но нелинейна ( $\eta = 0,78 \pm 0,16$ ), при этом нелинейность существенна на 5% уровне значимости ( $F_{\text{факт}} = 5,52$ ,  $F_{0,05} = 3,74$ ).

Это подтверждается наличием связи между содержанием подвижного ванадия и гидролитической кислотностью ( $r = -0,44 \pm 0,24$ ;  $\eta = 0,66 \pm 0,20$ ). Корреляционное отношение достоверно на 1% уровне значимости. Связь нелинейна как вследствие неодинаковой термодинамической устойчивости производных трех- и четырехвалентного ванадия в исследованном интервале рН, так и различных механизмов сорбции  $\text{VO}_2$  и производных V(IV) органическим веществом.

Как и для минеральных почв, в аллювиально-болотных почвах отмечается тесная связь между содержанием подвижных соединений ванадия и железа, однако в отличие от аллювиальных дерновых почв связь существенно нелинейна ( $r = -0,29$ ;  $\eta = 0,74 \pm 0,19$ ). Корреляционное отношение достоверно на 1% уровне значимости.

**Заключение.** Установлены закономерности накопления подвижных соединений ванадия в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв Лава-Прегольской и Полесской низменностей. По содержанию подвижных соединений ванадия исследованные почвы можно расположить в следующий ряд: дерново-подзолистые автоморфные < дерново-подзолистые глееватые < аллювиальные дерновые  $\approx$  дерново-подзолистые глеевые  $\approx$  дерновые глеевые < аллювиально-болотные.

Концентрация подвижных соединений ванадия в значительной мере определяется гидроморфизмом почв, а также кислотно-основными свойствами почвенного поглощающего комплекса. При этом зависимости существенно нелинейны вследствие многообразия форм существования ванадия в исследованном диапазоне рН, а также амфотерности  $\text{VO}_2$ . Среднее содержание подвижного ванадия в аллювиальных дерновых почвах близко к его содержанию в дерново-подзолистых глеевых, что свидетельствует о его аккумуляции в геохимически подчиненных позициях ландшафта. В связи

с повсеместным дефицитом подвижного молибдена в почвах Калининградской области представляется перспективным исследование действия ванадийсодержащих удобрений на продуктивность агроландшафтов, особенно при возделывании бобовых культур.

**Литература:**

1. *Шеуджен А.Х.* Биогеохимия–Майкоп:ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.
2. *Насон А.* Роль ванадия и молибдена в обмене веществ у растений и животных / Микроэлементы. – М.: Изд. иностр. литературы, 1962. – 512 с.
3. *Панасин В.И.* Содержание микроэлементов в почвах Калининградской области. – Калининград: Калининградское кн. издательство, 1979. – 105 с.
4. *Панасин В.И.* Микроэлементы и урожай. – Калининград: ОГУП «Калининградское книжное издательство», 1995. – 282 с.
5. *Анциферова О.А.* Геохимия элементов в почвах Западнорусского полуострова– Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 222 с.
6. *Панасин В.И., Рымаренко Д.А.* Зависимость содержания ванадия от свойств дерново-подзолистых почв Калининградской области // Агрохимический вестник. – 2008. – № 1. – С. 37–38.
7. *Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Ермоленко Е.Н.* Ванадий в дерново-подзолистых почвах Калининградской области // Агрохимический вестник. – 2012. – №6. – С. 7–9.
8. *Панасин В.И.* Агрохимические свойства почв Калининградской области и применение удобрений. – Калининград: Калининградское кн. изд., 1974. – 270 с.
9. *Уманский А.С.* Экологический ряд почв бассейна реки // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – Вып. 7. Сер. Естественные науки. – Калининград: Изд-во РГУ им. Канта, 2009. – С. 98–106.
10. *Анциферова О.А.* Почвы Калининградской области. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2010. – 240 с.
11. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб <http://docs.cntd.ru/document/1200023554>.
12. ГОСТ 29269-91. Почвы. Общие требования к проведению анализов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023560>. Дата обращения: 27.10.17.
13. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/29278>. Дата обращения: 23.05.18.

14. ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023469>. Дата обращения: 23.05.18.
15. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023481>. Дата обращения: 23.05.18.
16. ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023552>. Дата обращения: 23.05.18.
17. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094361> Дата обращения: 23.05.18.
18. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001091>. Дата обращения: 23.05.18.
19. ГОСТ 17.4.4.01-84 Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы определения емкости катионного обмена. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012802>. Дата обращения: 23.05.18.
20. ГОСТ 27395-87. Почвы. Метод определения подвижных соединений двух- и трехвалентного железа по Веригиной – Аринушкиной. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023530>. Дата обращения: 23.05.18.
21. Добрицкая Ю.К. Определение молибдена, ванадия, марганца и йода в почвах / Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – С. 420–449.
22. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
23. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н. Агрохимия. Ч.2. Методика агрохимических исследований. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 703 с.
24. Любимова И.Н. Содержание и формы соединений молибдена, ванадия и хрома в почвах / Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: Изд. МГУ, 1979. – С. 224–293.

**Panasin V.I., Wichman M.I., Chechulin D.S., Rymarenko D.A.**

**ECOLOGICAL AND AGROCHEMICAL FEATURES OF  
THE MOBILE VANADIUM DISTRIBUTION IN THE SOILS OF  
THE KALININGRAD REGION**

*The regularities of accumulation of mobile vanadium compounds in the soddy-alluvial and alluvial-boggy soils are determined. The dependency of vanadium content on the soil texture, organic matter content and acid-base properties of the soil absorption complex are identified. Laws of accumulation of mobile vanadium compounds in humus-accumulative horizons are established. Data on the mobile vanadium content in the soddy-podzolic soils are presented. The major factors defining mobile vanadium content are the water-air regime and the content of organic substance.*

Keywords: soils, vanadium, mobile form, texture, organic matter, acid-base properties.