

**ХИМИЯ
ПОЧВ**

УДК 631.413

**ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ СОЕДИНЕНИЙ НИКЕЛЯ
В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ***

©2003 г. И. О. Плеханова

Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 19.09.2002 г.

Исследовали трансформацию соединений никеля и пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы при двух режимах увлажнения - 50 и 100% ППВ, а также с добавлением извести, торфа и глюкозы. Инкубирование увлажненных почв в течение 30 сут. приводило к увеличению содержания соединений никеля: растворимых в воде, обменных, связанных с органическим веществом и связанных с аморфными гидроксидами железа. При этом содержание никеля, связанного с окристаллизованными соединениями железа, уменьшалось при влажности 50% ППВ в 2 раза, а при влажности 100% ППВ - в 4 раза. Количество никеля в остаточной фракции при этом уменьшалось на 25 и 50% соответственно. Трансформация никеля в почвах тесно связана с трансформацией соединений железа, марганца и развитием окислительно-восстановительных процессов. Самые низкие значения рН и ОВП, максимальное увеличение подвижности никеля наблюдали при инкубировании почв с глюкозой при влажности 100% ППВ.

В настоящее время накоплен обширный материал о содержании и распределении химических элементов в почвах, растениях, породах и других объектах окружающей среды. Поведение химических элементов в почвах отличается сложным характером и зависит от многих факторов: свойств элементов и уровней их содержания, химических и физических свойств почв, а также от факторов окружающей среды и их воздействия на почвенно-геохимические процессы. Особенно важно изучение влияния факторов среды на трансформацию и миграцию микроэлементов в почвах в условиях повышенного их поступления с техногенными потоками вследствие современного загрязнения окружающей среды. Одним из таких элементов является никель, содержание которого в почвах незагрязненных территорий характеризуется небольшими величинами. В почвах мира оно колеблется от 1 до 100 мг/кг [7]. В зональных почвах России разница в содержании никеля значительно меньше. В почвах таежно-лесной зоны (подзолистые, дерново-подзолистые, болотные) концентрация никеля в среднем составляет 20 мг/кг [9]. В серых лесных 30 мг/кг, черноземах 22-72 [19]. К югу от зоны черноземов содержание никеля в почвах уменьшается. В почвах городов отмечается повышенное содержание никеля по сравнению с фоновыми территориями, например в почвах парков Москвы содержание никеля в среднем составляет 30 мг/кг [16], в почвах Юго-восточного округа Москвы содержание

никеля изменяется от 15 до 150 мг/кг при среднем содержании 53 и модальном 20 мг/кг [11]. В почвах агроландшафтов, где применялись осадки сточных вод, содержание никеля находится в пределах от 30 до 50 мг/кг в зависимости от состава и дозы внесенного осадка [17]. В почвах территорий, примыкающих к предприятиям металлургической промышленности, например, к медно-никелевому комбинату "Североникель" содержание этого элемента достигает 3000 мг/кг [13]. Таким образом, в настоящее время получили распространение почвы с весьма разнообразным и часто повышенным содержанием никеля.

Одним из важнейших факторов внешней среды, воздействующих на химическое состояние органических и минеральных компонентов почв, является гидрологический режим. Переувлажнение - естественное состояние подавляющего большинства почв гумидных ландшафтов [6]. Оно наблюдается в почвах в разные по продолжительности периоды времени и оказывает воздействие на весь комплекс почвенных свойств и процессов. Развитие окислительно-восстановительных (ОВ) процессов и изменение кислотности почв, происходящие в результате высушивания или избыточного увлажнения, могут оказывать значительное влияние на подвижность микроэлементов, вызывая их осаждение, растворение, а также образование комплексных соединений различной прочности с органическим веществом, глинистыми минералами, оксидами железа и другими почвенными компонентами. В наибольшей мере таким превращениям подвер-

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №01-0448788).

Некоторые показатели химических свойств почв опыта

Почва	рН		Гидролитическая кислотность	ЕКО	С орг, %
	водный	солевой			
ДПО (контроль)	5.6	5.0	4.0	12.0	0.95
ДПО + торф	5.7	5.2	3.8	13.8	3.6
ДПО + глюкоза	5.5	4.8	4.1	12.2	1.0
ДПО + CaCO ₃	6.5	6.1	3.1	16.2	0.95

жены элементы с переменной валентностью, к которым относятся элементы семейства железа. Хорошо исследованы вопросы трансформации соединений железа и марганца в различных условиях увлажнения почв [1, 10, 18, 22, 23], но очень мало работ, в которых бы рассматривалось состояние других микроэлементов в связи с изменением ОВ условий и подвижности железа.

Целью работы являлось изучение влияния условий увлажнения, содержания органического вещества и кислотности почв на подвижность и фракционный состав соединений никеля при его повышенном содержании в почвах.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в лабораторных условиях на дерново-подзолистой среднесуглинистой слабокультуренной почве (гор. А пах., Московской обл., Солнечногорский р-н) при двух режимах увлажнения: 50 и 100% предельной полевой влагоемкости (ППВ) в трех повторностях. Предварительно почву измельчали, просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм и вносили никель из расчета 50 мг на 1 кг воздушно-сухой почвы в виде раствора сульфата никеля. Исследованы варианты с внесением извести (из расчета 4 г на 1 кг воздушно-сухой почвы), торфа (50 г на 1 кг воздушно-сухой почвы) и глюкозы (1%), как источника легкодоступного органического вещества, а так же вариант без добавок. Выбор глюкозы обусловлен тем, она является достаточно распространенным в почвах промежуточным продуктом распада растительных остатков, потребляемым всеми группами почвенных микроорганизмов. Внесение в почву глюкозы повышает интенсивность микробиологических процессов и трансформацию соединений биогенных элементов [15, 20].

Почву инкубировали при 25 °С в течение 30 суток. В ходе опыта контролировали уровень влажности, рН, окислительно-восстановительный потенциал на 1, 3, 7, 10, 15, 20 и 30 день инкубирования. рН и ОВП определяли потенциометрически

помощью иономера рН-130. Определение рН проводилось в водной суспензии при соотношении почва : раствор 1: 2.5. Химическая характеристика почв опыта представлена в таблице.

Для определения группового состава соединений Ni, Fe и Mn пробы почв отбирали на 1, 7, 15 и 30 сутки инкубирования и из сухих образцов. Вытяжки подбирали с учетом прочности связи элементов с почвенными компонентами [17], экстракцию проводили путем последовательного извлечения фракций из одной навески почвы. Контролировали содержание в почвах следующих фракций соединений элементов: растворимых в воде (водная вытяжка), обменных (вытяжка 1 н. Ca(NO₃)₂), запаса подвижных соединений (вытяжка CH₃COONH₄ с рН = 4.8); связанных с органическим веществом (вытяжка CH₃COONH₄ с рН = 4.8, после обработки почвы концентрированной H₂O₂ при t = 85 °С); связанных с аморфными гидроксидами железа (вытяжка Тамма); связанных с окристаллизованными гидроксидами железа (вытяжка Тамма с облучением почвенной суспензии ультрафиолетом) [21]. Валовое содержание Ni, Fe и Mn определяли после разложения почв смесью концентрированных кислот: HCl, HNO₃, HF с последующим растворением осадка в 1 н. HNO₃ [14].

Содержание элементов в вытяжках определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы Perkin-Elmer модель 403. Учет неселективного поглощения при определении Ni проводили с помощью дейтериевого корректора фона. Статистическую обработку данных производили при помощи пакета программ Microsoft Excel 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате инкубирования увлажненных почв произошло снижение ОВП, что свидетельствует о развитии восстановительных процессов. ОВП почв с влажностью 50% ППВ снизился от 560 до 420 мВ (рис. 1). В почвах с торфом ОВП снизился до 380 мВ, а в образцах с известью до 326 мВ. Наиболее низкие значения ОВП были от-

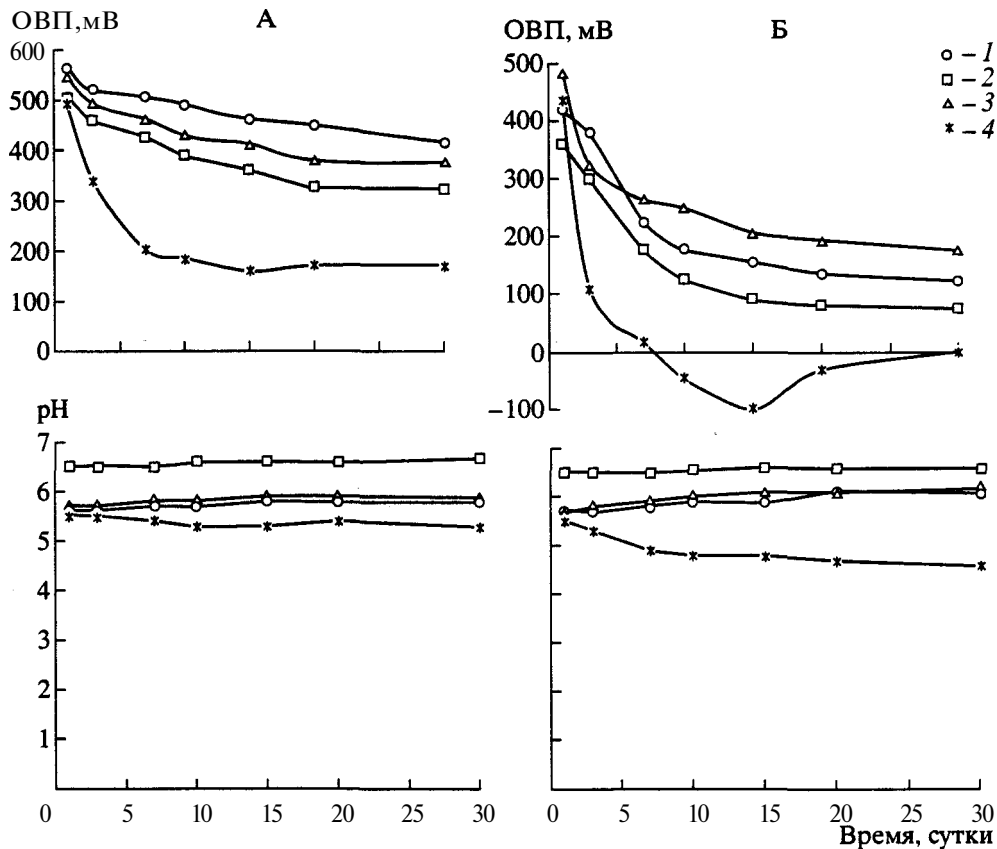


Рис 1. Динамика ОВП и рН при инкубировании почв с влажностью 50 (А) и 100% ППВ (Б). Обозначения здесь и далее: 1 - почва без добавок, 2 - почва + известь, 3 - почва + торф, 4 - почва + глюкоза.

мечены для почв с глюкозой: 175 мВ. При полном насыщении почвы водой наблюдали более низкие значения ОВП во всех вариантах опыта: 200 мВ в контроле, а в почве с глюкозой ОВП снижался до -100 мВ (рис. 1).

Следует отметить, что большое значение имеет состав органического вещества. При внесении в почву торфа снижение ОВП было менее значительным, чем при внесении глюкозы, вероятно вследствие более трудной доступности торфа как питательного субстрата для микроорганизмов. Многие исследователи считают, что главным фактором, вызывающим развитие восстановительных процессов в условиях избыточного увлажнения, является деятельность анаэробных микроорганизмов и содержание органического вещества, способного быть энергетическим и питательным субстратом для них [1, 6, 10]. Этим, вероятно, вызвано максимальное снижение потенциала в почвах с глюкозой, которая является доступным органическим веществом для всех групп почвенных микроорганизмов и повышает интенсивность микробиологических процессов. В ходе инкубирования наблюдалось некоторое увеличение рН исследуемой почвы (рис. 1). Наибольшие изменения рН произошли в образцах увлаж-

ненных до 100% ППВ. Повышение рН происходит благодаря восстановительным реакциям в почвах, в результате которых образуются соединения с более выраженными щелочными свойствами. Восстановление элементов с переменной валентностью обычно сопровождается поглощением иона водорода. Например, для железа: $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}^+ + e \rightarrow \text{Fe}_3(\text{OH})_8 + \text{H}_2\text{O}$ [23]. При более высокой влажности создаются выраженные анаэробные условия, благодаря чему возрастает полнота протекания восстановительных реакций и, соответственно, увеличивается расход протонов.

При внесении извести рН исходной почвы увеличивался от 5.6 до 6.5 и в процессе инкубирования практически не менялся. Вероятно, это связано с увеличением буферной способности почв к изменению рН при насыщении ППК ионами Ca^{2+} . ОВП почв с известью был ниже, чем в контроле на 50-70 мВ, что находится в соответствии с уравнением Нернста, согласно которому увеличение рН на 1 единицу вызывает снижение ОВП на 58 мВ. В образцах с добавлением торфа и глюкозы, напротив, наблюдалось снижение рН, связанное, по-видимому, с накоплением в среде органических кислот, в результате неполного разложе-

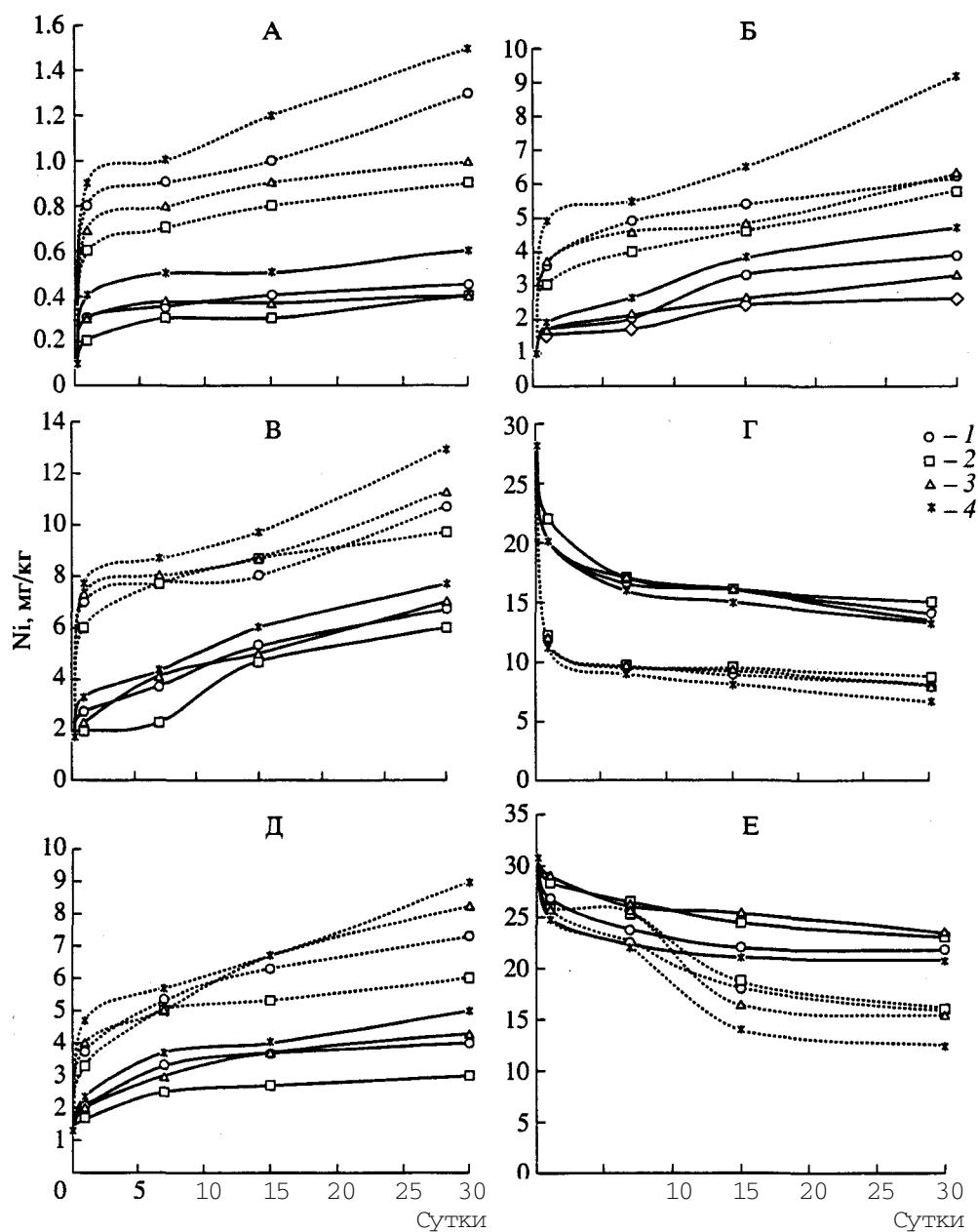


Рис. 2. Содержание Ni во фракциях: растворимой в воде (А), обменной (Б) связанной с аморфными (В) и окристаллизованными (Г) соединениями железа, связанной с органическим веществом (Д) и в остаточной фракции (Е). При влажности почв 50% ППВ (сплошная линия) и 100% ППВ (пунктир).

ния органического вещества и процессов брожения, которые развиваются в анаэробных условиях [1, 4]. В почвах с торфом значения pH мало отличались от контрольных вариантов.

В результате инкубирования увлажненных почв произошло увеличение концентрации никеля в водной вытяжке (рис. 2, А). Содержание никеля в водной вытяжке при влажности 100% увеличилось примерно в 10 раз, а при влажности 50% ППВ в 4-5 раз. Увеличилось также содержание обменных соединений никеля в почвах опыта (рис. 2, Б). При влажности 100% ППВ содержание

обменных соединений никеля изменилось от 1 до 9.2 мг/кг, а при влажности 50% от 1 до 3.3 мг/кг. Наибольшее увеличение содержания как обменных, так и растворимых в воде соединений никеля наблюдалось в образцах с добавлением глюкозы, что, вероятно, связано со снижением pH этих почв и образованием водорастворимых комплексных соединений. В литературе также отмечается увеличение подвижности соединений никеля при снижении pH за счет именно этих групп соединений [5].

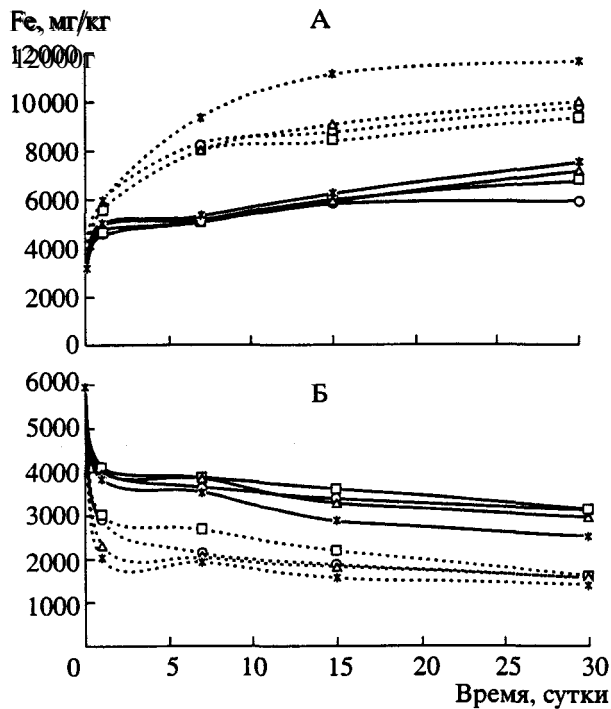


Рис. 3. Содержание аморфных (А) и окристаллизованных (Б) соединений железа при инкубировании почв с влажностью 50 (сплошная линия) и 100% ППВ (пунктир).

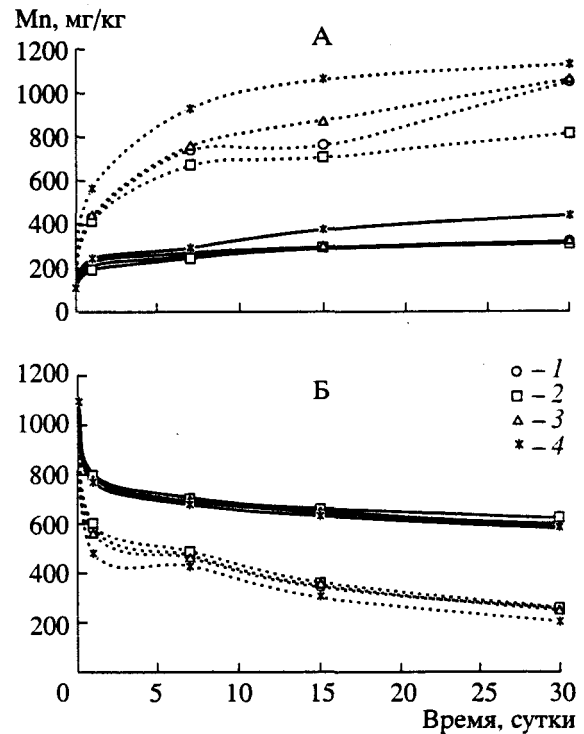


Рис. 4. Содержание марганца, связанного с аморфными (А) и окристаллизованными (Б) соединениями железа при инкубировании почв с влажностью 50 (сплошная линия) и 100% ППВ (пунктир).

Повышенное содержание ряда тяжелых металлов, в том числе никеля, которое обнаруживают в Fe-Mn конкрециях, связано, по-видимому, со способностью групп $=\text{FeOH}$ к специфической сорбции тяжелых металлов, а также их соосаждением с оксидами и гидроксидами железа и марганца [3, 7]. Поэтому при растворении оксидов и гидроксидов железа и марганца меняется химическое состояние элементов, которые были связаны с ними.

В результате инкубирования увлажненных почв увеличилось содержание аморфных соединений железа (рис. 3) и оксалоторастворимого марганца (рис. 4), а также связанных с ними соединений никеля (рис. 2, в) в почвах. Максимальное увеличение содержания никеля в этой фракции наблюдалось в почвах с добавлением глюкозы вследствие наиболее интенсивного развития восстановительных процессов, которые способствуют превращению почвенных кристаллических оксидов железа и марганца в аморфные и сопровождаются высвобождением ионов никеля, поглощенного ими. При влажности 100% ППВ содержание никеля в почве с глюкозой увеличилось от 1.5 до 12.3 мг/кг, а для влажности 50% ППВ от 1.5 до 7.7 мг/кг. Во всех вариантах отмечалась высокая корреляция между содержанием аморфных соединений железа и марганца в почве

и содержанием никеля, связанного с ними. Коэффициенты корреляции между содержанием этих соединений элементов равны 0.7-0.8 для 5-процентного уровня значимости. Следовательно, результаты опыта показывают, что трансформация соединений никеля в почвах тесно связана с трансформацией соединений железа.

Таким образом, избыточное увлажнение почв сопровождается переходом окристаллизованных соединений железа и марганца в аморфные. При этом происходит освобождение ионов никеля, связанных при соосаждении с оксидами железа и марганца. Ионные радиусы никеля и железа близки - 0.078 для Ni^{2+} , 0.08 для Fe^{2+} и 0.07 нм для Fe^{3+} [12], поэтому в кристаллической решетке оксидов железа могут присутствовать ионы никеля. Под влиянием микробных редуцтаз изменяется валентное состояние железа и марганца, которые переходят в двухвалентную форму и становятся подвижными вследствие более высокой растворимости восстановленных форм этих элементов. В условиях переувлажнения анаэробные микроорганизмы растворяют от 0.6 до 3.4% от массы минералов, переводя в раствор значительное количество железа и марганца [1]. Это приводит, с одной стороны, к высвобождению никеля, входящего в кристаллические решетки оксидов железа

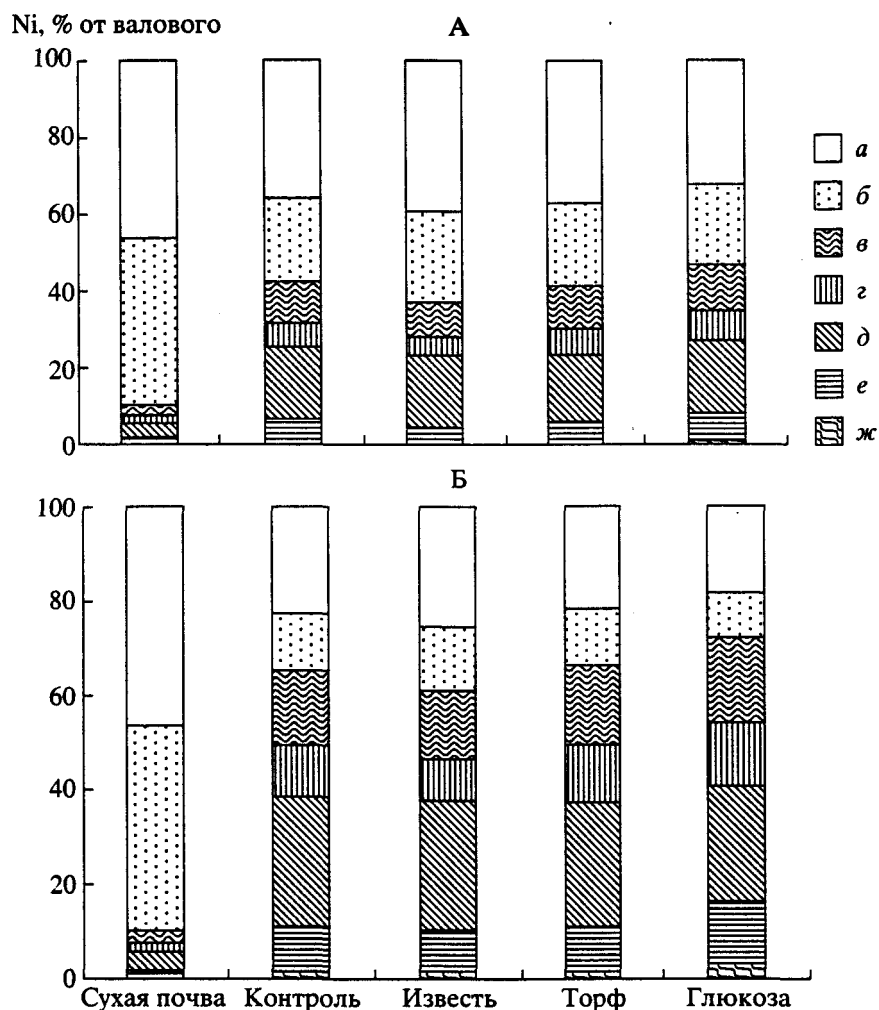


Рис 5. Фракционный состав соединений никеля в сухой почве и после 30 суток инкубирования почв с влажностью 50 (А) и 100% ППВ (Б). Фракции: *a* - остаточная; *б* - связанная с окристаллизованными соединениями Fe; *в* - связанная с аморфными соединениями Fe; *г* - связанная с органическим веществом; *д* - специфически адсорбированная; *е* - обменная; *ж* - водорастворимая.

и марганца, а с другой, к увеличению количества никеля, способного к обмену в результате снятия оксидных пленок, блокирующих выход ионов из межпакетных промежутков глинистых минералов.

Вследствие развития этих процессов наблюдается уменьшение содержания никеля, связанного с окристаллизованными соединениями железа (рис. 2, г). При влажности 100% ППВ содержание никеля в этой фракции уменьшилось в 4 раза, а при 50% ППВ в 2 раза, причем максимальное снижение было характерно для почв с внесением органического вещества, а минимальное - для почв с известью.

В процессе инкубирования увлажненных почв увеличилось содержание никеля, связанного с органическим веществом (рис. 2, Д). Наиболее заметно это увеличение в образцах с добавлением глюкозы. Активная микробиологическая дея-

тельность приводит к накоплению в почве низкомолекулярных соединений, с которыми никель может образовывать комплексные соединения, что, по-видимому, приводит к увеличению доли никеля, связанного с органическим веществом. Этот процесс также идет интенсивнее при более высокой влажности.

В ходе опыта отмечено уменьшение содержания никеля в остаточной фракции почв, наиболее значительное при влажности 100% ППВ (рис. 2, Е). Высвобождение никеля происходило, вероятно, за счет разрушения почвенных минералов в восстановительных условиях, а также в результате снятия защитных пленок на поверхностях силикатных частиц и агрегатов. Эти процессы могут происходить под влиянием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов: микробных слизей и органических кислот [1]. На рис. 5 представлены изменения группового состава соединений никеля,

которые произошли в процессе инкубирования почв с различным уровнем увлажнения. Увеличение содержания растворимых в воде, обменных, подвижных и связанных с органическим веществом и аморфными гидроксидами железа и марганца соединений никеля произошло в результате уменьшения его содержания в остаточной фракции и фракции, связанной с окристаллизованными соединениями железа и марганца.

Внесение извести, уменьшило почвенную кислотность и изменило соотношение между фракциями соединений никеля в почвах. Содержание растворимых в воде, обменных, связанных с органическим веществом и аморфными гидроксидами соединений никеля в почвах с известью было ниже, чем в контрольных вариантах на 15-25%. Уменьшение подвижности соединений никеля в этих почвах вызвано, по-видимому, снижением растворимости малорастворимых соединений никеля и образованием более прочных комплексов с органическим веществом при увеличении pH. Одновременно отмечалось более высокое содержание никеля в остаточной фракции и во фракции, связанной с окристаллизованными соединениями железа.

Внесение в почву торфа мало повлияло на значения pH и ОВП. Было отмечено некоторое уменьшение содержания растворимых в воде и обменных соединений никеля по сравнению с контрольными образцами, что объясняется взаимодействием активных функциональных групп органического вещества с соединениями никеля, в результате чего, по-видимому, происходит образование достаточно прочных комплексных соединений, которые не вытесняются раствором нейтральной соли. Увеличение содержания никеля во фракции, связанной с органическим веществом, было отмечено только в образцах с влажностью 100% ППВ, что, возможно, объясняется образованием достаточно прочных комплексных соединений никеля с органическим веществом, а используемая вытяжка извлекает соединения никеля, слабо связанные с органическим веществом. При избыточном увлажнении увеличивается доля более низкомолекулярной легкорастворимой фракции органического вещества [6, 8].

Наибольшие изменения группового состава соединений никеля отмечались в почвах с добавлением глюкозы. В этих почвах количество соединений никеля (растворимых в воде, обменных, связанных с органическим веществом и аморфными оксидами и гидроксидами железа) было значительно выше, чем в контроле. Благодаря активной микробиологической деятельности в этих вариантах опыта создавались резко восстановительные условия и более низкие значения pH, вследствие чего повышалась подвижность соединений никеля. Интенсивное развитие восста-

новительных процессов привело к переходу окристаллизованных соединений железа и марганца в аморфные. Уменьшение степени окристаллизованности и увеличение дисперсности оксидов и гидроксидов при их восстановлении приводит к значительному увеличению числа позиций, по которым может происходить взаимодействие с ионами никеля. Кроме того, внесение легкодоступного источника органического вещества повлекло за собой накопление в почве микробных метаболитов, которые при взаимодействии с ионами никеля привели к увеличению его содержания во фракции соединений, связанных с органическим веществом. Значительные различия фракционного состава соединений никеля в сухих и во влажных пробах почв после инкубирования наглядно показывают значение режима увлажнения для всех протекающих в почвах процессов, которые в свою очередь воздействуют на химическое состояние отдельных элементов (рис. 5).

Таким образом, в почвах с повышенным содержанием никеля в результате избыточного увлажнения значительно увеличивается доля подвижных соединений, в связи с чем происходит увеличение его миграционной способности. Это означает, что в условиях переувлажнения почв увеличивается вероятность миграции соединений никеля в сопредельные среды и проявления токсических эффектов. Достоверность изменений фракционного состава соединений никеля, которые произошли в процессе инкубирования почв, подтверждается статистической обработкой данных, которая показывает, что эти различия достоверны для 5-процентного уровня значимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инкубирование увлажненных почв вызывает развитие восстановительных процессов, интенсивность которых зависит от уровня увлажнения, количества и качественного состава органического вещества. Наиболее низкие значения ОВП отмечаются в почве с глюкозой при влажности 100% ППВ. Восстановительные процессы приводят к переходу окристаллизованных соединений железа и марганца в аморфные, а также к изменению их валентного состояния и увеличению подвижности вследствие более высокой растворимости восстановленных форм этих элементов. Это вызывает высвобождение ионов никеля, входящего в кристаллические решетки оксидов железа и марганца. Растворение оксидных пленок на поверхности глинистых минералов также увеличивает количество никеля, способного к обмену.

В результате инкубирования увлажненных почв происходит увеличение содержания растворимых в воде, обменных, связанных с органическим

ким веществом и связанных с аморфными гидроксидами железа соединений никеля в почвах. При этом уменьшается содержание никеля, связанного с окристаллизованными соединениями железа в 2 раза при влажности 50% ППВ и в 4 раза при влажности 100% ППВ, а его содержание в остаточной фракции уменьшается на 25 и 50% соответственно.

Внесение в почву глюкозы вызывает значительное снижение ОВП и рН. Это сопровождается увеличением содержания никеля во фракциях: растворимой в воде, обменной, связанной с органическим веществом и с аморфными соединениями железа на 15-20% по сравнению с контролем в почвах с влажностью 50% ППВ и на 25-50% при влажности 100% ППВ. В то же время происходит уменьшение его содержания во фракции, связанной с окристаллизованными оксидами железа на 5 и 20%, и в остаточной на 9 и 20% при влажности 50 и 100% ППВ соответственно. Внесение торфа вызывает некоторое уменьшение содержания растворимых в воде и обменных соединений никеля в почвах, однако доля никеля, связанного с аморфными соединениями железа, выше, чем в контроле. Содержание никеля в остаточной фракции и связанной с окристаллизованными соединениями железа в почвах с торфом было ниже, чем в контроле, что свидетельствует о более глубокой трансформации соединений никеля и железа в присутствии органического вещества.

Следует отметить, что трансформация никеля в почвах тесно связана с трансформацией соединений железа и марганца и развитием окислительно-восстановительных процессов. Наибольшее увеличение подвижности никеля наблюдается при более высокой влажности (100% ППВ). Увеличение рН почв от 5.6 до 6.5, в результате внесения извести, вызывает уменьшение содержания растворимых в воде, обменных и связанных с аморфными гидроксидами железа соединений никеля на 15-25% по сравнению с контролем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. 187 с.
2. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 238 с.
3. *Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В.* Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН. 1998. 216 с.
4. *Готтишлк Г.* Метаболизм бактерий. М.: Мир, 1982. 310 с.
5. *Добровольский Г.В., Гришина Л.А.* Охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 223 с.
6. *Зайдельман Ф.Р.* Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 300 с.
7. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
8. *Кауричев И.С., Ноздрунова Е.М.* Общие черты генезиса почв временного избыточного увлажнения // Новое в теории оподзоливания и осолодения почв. М.: Изд-во АН СССР, 1964. С. 46-61.
9. *Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюканов А.М.* Микроэлементы в почвах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1959. 76 с.
10. *Костенков Н.М., Стрельченко Н.Е.* Окислительно-восстановительное состояние переувлажненных почв и трансформация некоторых элементов. Владивосток: Дальнаука, 1992. 94 с.
11. *Ладонина Н.Н., Ладонин Д.В., Наумов Е.М., Большаков В.А.* Загрязнение тяжелыми металлами почв и травянистой растительности Юго-Восточного округа г. Москвы // Почвоведение. 1999. № 7. С. 885-893.
12. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1971. 456 с.
13. *Никонов В.В., Лукина Н.В., Дером Д., Петрова Н.В., Горяинова В.П.* Миграция и аккумуляция соединений никеля и меди в Al-Fe-гумусовых подзолистых почвах сосновых лесов (зона воздействия комбината "Североникель") // Почвоведение. 1993. № 11. С. 31-41.
14. *Обухов А.И., Плеханова И.О.* Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1991. 184 с.
15. *Паников Н.С., Звягинцев Д.Г., Абу-Эль-Нага С.* Кинетика разложения глюкозы в почве // Почвоведение. 1982. № 8. С. 70-77.
16. *Плеханова И.О.* Содержание тяжелых металлов в почвах парков г. Москвы // Почвоведение. 2000. № 6. С. 754-759.
17. *Плеханова И.О., Кленова О.В., Кутукова Ю.Д.* Влияние осадков сточных вод на содержание и фракционный состав тяжелых металлов в супесчаных дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. 2001. № 4. С. 496-503.
18. *Плеханова И.О., Обухов А.И.* Влияние микроорганизмов на трансформацию соединений железа и марганца в почвах при затоплении // Тр. биогеохимической лаборатории. 1990. Т. 21. С. 145-157.
19. *Ровинский Ф.Я., Петрухин В.А., Виженский В.Л., Чичева Т.Б., Бурицева Л.В., Лапенко Л.Л., Юшкан Е.И.* Фоновое содержание микроэлементов в природных средах (по мировым данным). Сообщение 4. Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоздат, 1987. Вып. 5. С. 3-50.
20. *Стейнер Р., Эдельберг Э., Ингрэм Дж.* Мир микробов. М., 1979. Т. 3. 430 с.
21. *Le Riche Н.Л., Weir А.М.* A method of studying trace elements in soil fractions // J. Soil Sci. 1981. V. 114. P. 225-235.

22. *Mandal LJV*. Transformation of iron and manganese in water-logged rice soils // *Soil Sci.* 1961. V. 91. № 2. P. 141-155.
23. *Ponnamperuma FJV*. The chemistry of Submerged soils // *Adv. Agron.* 1972. V. 24. P. 29-96.
24. *Saha J.K., Adhikan T., Mandal Bismwapati*. Effect of lime and organic matter on distribution of zink, coper, iron and manganese in acid soils // *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* 1999. V. 30. № 13-14. P. 1819-1829.

The Effect of Moisture and Organic Matter on the Fractional Composition of Nickel Compounds in Soddy-Podzolic Soil

I. O. Plekhanova

Transformation of nickel compounds in the plow horizon of soddy-podzolic soil under conditions of two moistening regimes (50 and 100% of field capacity) and upon application of lime, peat, and glucose was studied. Incubation of moistened soils for 30 days resulted in an increase in the content of nickel compounds (water-soluble, exchangeable, bound to organic matter, and bound to amorphous iron hydroxides). The content of nickel related to crystallized iron compounds decreased by two times at a moisture content equal to 50% of field capacity and by four times at a moisture content of 100% of field capacity. Nickel content in the residual fraction decreased by 25 and 50%, respectively. Nickel transformation in soils was closely related to the transformation of iron and manganese compounds and to the development of oxidation-reduction processes. The lowest pH and redox potential and the highest nickel mobilization were recorded at soil incubation with glucose upon soil moistening of 100% of field capacity.