

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(СПбГУ)

Институт наук о земле

Федорова Виктория Алексеевна

Микроэлементы в пахотных почвах моренных и озерно-ледниковых равнин

Северо-Запада России

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению 021900 «Почвоведение»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:

д.с.-х.н, проф. Н. Н. Матинян

«__»_____2016

Заведующий кафедрой:

д.с.-х.н, проф. Б. Ф. Апарин

«__»_____2016

Санкт-Петербург

2016

Содержание

Введение	3
Глава 1. Обзор литературы	5
1.1 Микроэлементы в почвах и породах	5
1.2 Краткая характеристика микроэлементов (Cr, Cu, Zn, Ni, Pb)	8
Глава 2. Факторы почвообразования	14
2.1 Климат	14
2.2 Геология и рельеф	15
2.3 Почвообразующие породы	16
2.4 Растительный покров	18
Глава 3. Объекты и методы	20
Глава 4. Результаты и обсуждения	21
4.1 Гранулометрический состав	21
4.2 Физико-химическая характеристика	23
4.3 Фракционно-групповой состав гумуса пахотных горизонтов	25
4.4 Валовой химический анализ	27
4.5 Определение микроэлементов	32
Выводы	38
Заключение	39
Литература	40
Приложения	42

Введение

В настоящее время широко известно о значительной роли микроэлементов в жизни живых организмов.

Почвы являются естественным источником химических элементов для растений, поэтому содержание в почве элементов, в том числе и микроэлементов, влияет на их развитие и жизнедеятельность. В связи с этим необходимо определять содержание микроэлементов в пахотных горизонтах, а также выяснять закономерности их географического распространения. Микроэлементы могут находиться в почве в недоступном для растений состоянии, поэтому важное значение для имеет определение подвижных форм. Решение подобных вопросов лежит в основе мероприятий, связанных с использованием почв в сельском хозяйстве.

Общих данных о микроэлементах в почвах Северо-Запада недостаточно. Например, плохо изучены такие элементы, как никель и хром. Особого контроля требует группа тяжелых металлов, что связано с их способностью отрицательно влиять на жизнедеятельность живых организмов.

Важным аспектом изучения почв является влияние почвообразующей породы на свойства почв. Формирование почв происходит под действием нескольких факторов, но известно, что именно почвообразующие породы в значительной степени определяют состав и свойства почв.

В связи со всем вышесказанным главная цель данного исследования - выявить связь между содержанием микроэлементов в почвообразующих породах и их количеством в пахотных горизонтах почв моренных и озерно-ледниковых равнин Северо-Запада России.

Задачи:

1. Дать физико-химическую и химическую характеристику пахотных горизонтов почв и почвообразующих пород моренных и озерно-ледниковых равнин.
2. Провести анализ содержания МЭ в верхних горизонтах почв и в почвообразующих породах.
3. Выявить доли подвижных микроэлементов в пахотных горизонтах.

4. Провести сравнительную характеристику пахотных горизонтов и почвообразующих пород моренных и озерно-ледниковых равнин.

Таким образом, полученные данные могут быть использованы при проведении работ, связанных с сельскохозяйственным производством, при проведении мониторинговых исследований почв, а также для экологической оценки данного региона.

1. Обзор литературы

1.2. Микроэлементы почвах и породах

Основы для исследований микроэлементов, их миграции и участия в биологических процессах и процессах почвообразования были заложены в работах А. П. Виноградова, В. А. Ковды, Я. В. Пейве, В. В. Ковальского и других выдающихся советских ученых.

Одним из факторов почвообразования является почвообразующая порода, которая оказывает большое влияние на минералогический, химический, гранулометрический состав, а также на физические свойства почвы. Связь микроэлементного состава почв и почвообразующих пород была отмечена А.П. Виноградовым. В своей монографии «Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах» (1950) он отметил, что содержание микроэлементов в почве обуславливается в значительной степени особенностями почвообразующей породы.

Другой советский ученый Я. В. Пейве (1961) подчеркнул, что количество микроэлементов в почве зависит от степени окультуренности и условий почвообразования.

Согласно опубликованным данным (Сапрыкин, Кулачкова, 1984), максимальное содержание микроэлементов наблюдается в почвах, развитых на глинах и особенно на ленточных глинах. Наиболее распространенные микроэлементы в таких почвах – цирконий, цинк, ванадий, стронций. Развитые на моренах почвы менее обеспечены микроэлементами, и преобладают в них цирконий, стронций и бор. Наименьшим количеством микроэлементов обладают почвы, развитые на песках. В почвах, развитых на озерно-ледниковых песках, ведущим микроэлементом является цинк (Сапрыкин, Кулачкова, 1984).

Микроэлементы могут накапливаться или вымываться в ходе выветривания и почвообразования (Муха, 2003). Таким образом, важно учитывать свойства почв, такие как реакция среды, окислительно-восстановительные условия, гранулометрический состав и др.

Согласно данным Ковальского и Андриановой содержание микроэлементов в почвах и доступность их для растений определяются реакцией почвенного раствора. Например, в кислой среде создаются условия для выноса меди, цинка, кобальта, никеля и других микроэлементов. В почвах кислая среда создается угольной кислотой и органическими кислотами. С угольной кислотой такие элементы, как барий, стронций,

свинец, марганец, дают растворимые бикарбонаты, мигрирующие вместе с бикарбонатами кальция и железа. Гуминовые, фульвовые и другие кислоты почв создают условия для закрепления одних и выноса других элементов. (Ковальский, Андрианова, 1970)

Содержание в почве и доступность микроэлементов для растений зависят и от окислительно-восстановительного потенциала почв. Микроэлементы с переменной валентностью в зависимости от окислительно-восстановительных условий почвы могут переходить с высшей валентности на низшую и наоборот, что существенно отражается на их миграционной способности. При смене восстановительных (анаэробных) условий окислительными (аэробными) некоторые микроэлементы, переходя с высшей валентности на низшую, образуют нерастворимые соединения и выпадают в осадок, другие, наоборот, приобретают подвижность и легко мигрируют. (Муха, 2003)

Важное значение имеет гранулометрический состав почв, так как количество микроэлементов в почвах зависит от содержания илистой фракции, что связано с большой поглощательной способностью глинистых минералов. (Ковальский, Андрианова, 1970)

Образующиеся в процессах выветривания и почвообразования вторичные глиноподобные минералы играют существенную роль в связывании микроэлементов. Во вторичных глинистых минералах присутствуют примеси Си, Ni, Zn, Cr, Li, Mn. (Ковда, 1969)

Именно в тонкодисперсной фракции концентрируется значительная часть микроэлементов (медь, цинк, никель), некоторые могут накапливаться в мелкопесчаной и алевритовой фракциях (Гагарина, 2004)

Н. П. Битюцкий (1999) указал, что содержание подвижных форм микроэлементов в почве определяется ионообменными процессами. Их интенсивность и направленность зависят от многих факторов, прежде всего, от свойств ППК. Под ППК понимают совокупность минеральных, органических и органоминеральных компонентов твердой части почвы, обладающих ионообменной способностью. Из многочисленных соединений оксидов и гидроксидов наибольшее влияние на подвижность микроэлементов в почве оказывают оксиды железа и марганца, а также алюминия. С помощью электронного микронзонда установлено, что многие микроэлементы концентрируются в пленках оксидов почвенных частиц. В почвах около 50 % тяжелых металлов связано с гидроксидами железа. Наибольшее сродство гидроксидов железа и

марганца проявляется к сходным по размерам иона металлам (Co^{2+} , Co^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{4+} , Ag^{+}). Некоторые формы фосфатов металлов характеризуются слабой растворимостью в воде. Поэтому повышенное содержание фосфатов в почве и интенсивное применение фосфорных удобрений (особенно при нейтральной и щелочной реакции среды) способствуют закреплению металлов почвенно-поглощающим комплексом.

Особый интерес представляет собой роль микроэлементов в почвообразующих процессах. В. А. Ковда, И. В. Якушевская, А. Н. Тюрюканов (1959) использовали данные о среднем содержании микроэлементов в почвах и в составе земной коры для составления общей схемы, в которой микроэлементы соотнесены с основными почвенными процессами. Также ими было указано на зависимость содержания микроэлементов в почве от минералогического состава материнских пород. Согласно их данным к пироксенам тяготеют хром, никель, кобальт, марганец. В шпинелях и окислах железа содержатся преимущественно хром, медь. Также выявлено, что чем выше содержание кварца, тем больше дефицит большинства микроэлементов.

Выявлено аккумулятивное и иллювиальное накопление микроэлементов, отражающее развитие почвообразования по дерновому и подзолиственному типу. Для дерново-подзолистых почв характерно преобладание процессов вымывания микроэлементов над их накоплением и, следовательно, некоторое обогащение нижней части профиля (Макаров, 1969). Окультуренные почвы существенно превосходят свои целинные аналоги по содержанию микроэлементов. (Пестряков, 1977)

На содержание микроэлементов в почвах существенное влияние оказывает процесс оподзоливания. Процесс оподзоливания в первую очередь затрагивает микроэлементы верхних почвенных горизонтов. При этом степень оподзоливания во многом зависит от состава почвообразующих пород. Так, максимальное содержание микроэлементов устанавливается в дерново-подзолистых почвах, развитых на глинах, и минимальное – в почвах, образовавшихся на песках. Влияние процесса оглеения, который в основном затрагивает верхние горизонты почв, развитых на глинах, можно проследить на примере почв, образованных на ленточных глинах. Здесь имеются два наложенных процесса: первый – процесс оподзоливания, протекающий в окислительной обстановке, и второй – оглеения, связанный с восстановительной обстановкой. Так, в дерново-слабоподзолистой глееватой почве содержание микроэлементов в верхнем горизонте выше, чем в нижележащем слое. В данном случае процесс оглеения обладает преимущественным влиянием. В дерново-среднеподзолистой почве поверхностно-

глеевой процесс оподзоливания преобладает над процессом оглеения, что сказалось на уменьшении содержания микроэлементов в верхнем их слое. (Сапрыкин, Кулачкова, 1984)

Глеевые процессы в почвах обычно связаны с условиями аккумулятивного недренированного ландшафта. В такой обстановке вместе с поверхностными и грунтовыми водами в депрессии рельефа поступают и подвижные соединения микроэлементов, переходящие в раствор при выветривании и почвообразовании на вышерасположенных территориях. Однако могут иметь место и процессы прямой мобилизации микроэлементов, подверженных восстановительным реакциям, т. е. таких спутников железа, как кобальт, марганец и др. (Ковда, 1969 г.)

В почвенном профиле (в среднем) по сравнению со средним составом земной коры происходит вынос, щелочей и щелочных земель, алюминия и железа, меди, кобальта, цинка, селена, молибдена, никеля, свинца, рубидия, цезия, стронция, хлора, радия, фосфора, германия, тория, урана. Наиболее интенсивно выносятся медь, кобальт, цинк, никель, радий. (Ковда, 1969 г.)

Существуют установленные предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации химических элементов в почве. ПДК ОДК некоторых микроэлементов представлены в таблице 1.

1.2 Краткая характеристика микроэлементов (Cr, Cu, Zn, Ni, Pb)

Медь. Наибольшее количество меди наблюдается в основных изверженных породах, прочие типы пород содержат близкие, относительно невысокие количества меди. Из осадочных пород больше всего меди в покровных и лёссовидных суглинках, меньше ее в моренных суглинках и карбонатных породах, еще меньше — в песчаных породах. Почвы, лежащие на продуктах выветривания основных изверженных пород, на покровных и лёссовидных суглинках, могут быть обогащены медью. Мало меди в почвах на карбонатных и песчаных почвообразующих породах и флювиогляциальных отложениях. Большие количества меди содержат почвы вблизи ареалов рассеяния сульфидных медных и полиметаллических месторождений и почвы на медистых песчаниках. Медь в почвах встречается обычно в форме двухвалентных ионов, дающих соединения разной степени подвижности: растворимые, легкоподвижные — сульфат меди, соли лимонной, уксусной и некоторых других органических кислот — и

Таблица 1

Нормативы ПДК (ОДК), фоновые содержания химических элементов в почвах, мг/кг

Элемент	Класс опасности	ПДК		ОДК по группам почв		
		Валовое содержание	Извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером (рН=4,8)	Песчаные, супесчаные	Суглинистые, глинистые	
					рН _{ксл} < 5,5	рН _{ксл} > 5,5
Pb	1	32	6	32	65	130
Zn	1	-	23	55	110	220
Cd	1	-	-	0,5	1	2
Cu	2	-	3	33	66	132
Ni	2	-	4	20	40	80
Co	2	-	5	-	-	-

<http://biofile.ru/bio/22393.html>

труднорастворимые, малоподвижные сульфиды, окислы, фосфаты и оксалаты меди. При выветривании медьсодержащих пород медь первоначально переходит в ионный раствор, а затем осаждается главным образом в виде вторичного сульфида, образуя зону вторичного обогащения (цементации). К характерным геохимическим особенностям меди относится ее способность к образованию в щелочной среде легко коагулирующих коллоидных растворов и минералов (малахит, хризоколла, бирюза и др.). (Ковальский, Андрианова 1970)

Медь представляет собой один из наименее подвижных в почве микроэлементов. Ее подвижность в почве и доступность растениям во многом зависят от процессов адсорбции и комплексообразования. Наибольшие количества меди адсорбируют оксиды железа и марганца (гематит, гётит, бернессит), аморфные гидроксиды железа и алюминия, глинистые минералы (монтмориллонит, вермикулит, имоголит) (<http://agrohimija24.ru/mikroelementy/2041-podvizhnost-medi-v-pochve.html>)

Цинк. Из изверженных пород наиболее богаты цинком основные породы. Меньше цинка содержится в кислых и, особенно, в ультраосновных породах. Относительно богаты цинком глинистые породы, особенно покровные и лёссовидные суглинки, мало цинка в песчаных и супесчаных породах. В процессе выветривания цинк легко переходит в раствор в виде сульфатов и хлоридов и переносится поверхностными и грунтовыми водами. По геохимическим свойствам цинк — халькофильный и литофильный элемент. Наибольшие концентрации его — в железисто-магнезиальных и марганцевых минералах, в ассоциации с двухвалентным железом, магнием, марганцем и другими близкими по ионным радиусам элементами. (Ковальский, Андрианова, 1970)

В большей части почв цинк аккумулируется в поверхностных горизонтах и в основном ассоциирует с гидроксидами железа и алюминия и глинистыми минералами. Адсорбция Zn^{2+} может ослабляться при низких значениях pH ($\ll 7$) вследствие конкуренции с другими ионами. Это приводит к повышению мобильности цинка в кислых почвах. (<http://agrohimija24.ru/mikroelementy/2040-podvizhnost-cinka-v-pochve.html>)

В кислых растворах соединения цинка подвижным и легко выносятся, в щелочных условиях — осаждаются и фиксируются (Ковда, 1969).

Никель. В континентальных отложениях он присутствует в виде сульфидов и арсенидов и часто замещает железо в железомagneзиальных соединениях. В соединениях никель главным образом двух- и трехвалентен. В почвах никель тесно связан с оксидами марганца и железа, и в этой форме наиболее доступен для растений. В верхних горизонтах почв никель присутствует в органически связанных формах,

часть из которых представлена легко растворимыми хелатами. Самые высокие содержания Ni наблюдаются в глинистых и суглинистых почвах, в почвах на основных и вулканических породах и в почвах, богатых органикой.

(http://www.bygeo.ru/materialy/pervyi_kurs/pochvovedi-zem-res-u-chtenie/1769-tyazhelye-metally-v-pochvah.html)

Для понимания процессов миграции никеля в коре выветривания и почвах важно иметь в виду связь его с соединениями Fe, Co, Mg, S. Никель способен у изоморфному замещению магния в силикатах. Во вторичных алюмосиликатах никель способен изоморфно замещать Fe. Имеющиеся данные позволяют предполагать, что в подзолистых почвах не исключены случаи дефицита никеля. (Ковда, 1969)

Свинец. Свинец распространен в кислых магматических породах и глинистых осадках в пределах 10-40 мг/кг. В ультраосновных породах и известковистых осадках его содержится 0,1-10 мг/кг. Естественное содержание свинца в почвах наследуется от материнских пород. (<http://agrohimiya24.ru/tyazhelye-metally/782-soderzhanie-svinca-v-pochve.html>) В почве свинец ассоциируется главным образом с органическим веществом, а также с глинистыми минералами, оксидами марганца, гидроокислами железа и алюминия. Связывая свинец, гумус препятствует его миграции в сопредельные среды и ограничивает поступление в растения. Из глинистых минералов склонностью к сорбции свинца характеризуются иллиты. Повышение pH почвы при известковании ведет к еще большему связыванию свинца почвой за счет образования труднорастворимых соединений (гидроокислов, карбонатов и др.). (<http://biofile.ru/bio/22393.html>)

Большинство дерново-подзолистых почв по содержанию свинца находится в пределах нормальной или повышенной обеспеченности (Сапрыкин, Кулачкова, 1984). Области с низким содержанием свинца в почвах (до 10 мг/кг) занимают около 28 % территории России, преимущественно в северо-западной ее части. В пределах этого региона преобладают дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные почвы, развитые на моренных отложениях, а также кислые подзолистые почвы, обедненные микроэлементами; много заболоченных земель (<https://geographyofrussia.com/soderzhanie-svinca-v-pochvax/>).

Хром. Хром содержится в основном в ультраосновных и основных горных породах. В кислых изверженных и осадочных породах его содержание ниже 5-120 мг/кг. Максимум содержания хрома отмечается в глинах. Уровень содержания хрома в почвах

зависит от содержания его в материнских породах (например, на серпентинитах достигает 0,2-0,4%). Песчаные почвы обычно обеднены им.

(<http://agrohimija24.ru/tyazhelye-metally/784-soderzhanie-hroma-i-litiya-v-pochve.html>)

В природных соединениях хром обладает валентностью +3 и +6. Большая часть Cr³⁺ присутствует в хромите FeCr₂O₄ или других минералах шпинелевого ряда, где он замещает Fe и Al, к которым очень близок по своим геохимическим свойствам и ионному радиусу. В кислой среде ион Cr³⁺ инертен, при pH 5,5 почти полностью выпадает в осадок. Ион Cr⁶⁺ крайне не стабилен и легко мобилизуется как в кислых, так и щелочных почвах. Адсорбция хрома глинами зависит от pH среды: при увеличении pH адсорбция Cr⁶⁺ уменьшается, а Cr³⁺ увеличивается. Органическое вещество почвы стимулирует восстановление Cr⁶⁺ до Cr³⁺.

(<http://xreferat.com/112/3519-2-rol-tyazhelyh-metallov-v-ekosfere.html>)

Многие микроэлементы входят в состав группы тяжелых металлов. В том числе и те микроэлементы, которые были приведены выше. Цинк, например, выполняет ряд биологических функций. Так, у человека ион цинка входит в состав свыше 20—металлоферментов, включая участвующие в метаболизме нуклеиновых кислот. Токсичным может оказаться как избыток, так и недостаток цинка. Дефицит выражается в нарушении кожных покровов, ухудшении заживления ран, отставании в росте, нарушении половых функций и полового развития у молодых людей, мозговых нарушениях и нарушениях в иммунной системе, а также проблеме родов и разнообразных дефектах у новорожденных. При избытке цинка в растениях нарушается ряд биохимических процессов. Поскольку цинк является антагонистом кальция, а также способен образовывать с фосфором малорастворимые соли, растение может испытывать дефицит этих элементов с характерными признаками кальциевого и фосфорного голодания. Необходимым для нормального роста животных является никель, однако его роль до конца еще не выяснена. Известно, что как и некоторые другие ионы металлов, никель активирует определенные ферменты. Известно также, что соединения никеля могут быть канцерогенными. Медь в организме является необходимым кофактором для нескольких ферментов, катализирующих разнообразные окислительно-восстановительные реакции. При этом неблагоприятным может быть как избыток меди, так и ее недостаток. Дефицит меди приводит к анемии, плохому состоянию костной и соединительной тканей, а также к потере пигментации волос. Избыток меди, попавшей в желудочно-кишечный тракт, раздражает нервные окончания в желудке и кишечнике и вызывает рвоту. меди для растений и способностью

регулировать ее поглощение. Токсичность меди связана с подавлением активности ферментов фосфатазы, каталазы, оксидазы, рибонуклеазы. Элемент взаимодействует с клеточными мембранами, изменяя их проницаемость и вызывая разрывы. Типичными признаками фитотоксичности меди являются хлороз (хотя хлороз может быть связан с недостатком железа т.к. медь - антагонист железа), задержка роста побегов, ненормальное развитие корневой системы, увядание растения. (Дабахов, Дабахова, Титова, 2005)

Тяжелые металлы, накапливаясь в почве, отрицательно влияют на протекающие в ней химические и биологические процессы. Загрязненные почвы следует использовать только под технические и декоративные культуры и не выращивать на них овощи, корм скоту и т. п., чтобы не допускать поступления тяжелых металлов в организмы животных и человека. (Драган, 2008)

Глава 2. Факторы почвообразования

2.1 Климат

На климат территории Северо-Запада России существенное влияние оказывает близость Атлантического океана. В связи с этим умеренно-континентальный климат приобретает черты морского: зимний период относительно мягкий, характерны оттепели; летний период умеренно теплый. Континентальность климата увеличивается с запада на восток. В формировании климата большую роль играют атлантические воздушные массы. Для территории характерна активная циркуляция воздушных масс. Преобладают западные и юго-западные ветры атлантического происхождения. Особенно часты ветры в осенне-зимний период, принося потепление, нередко приводящее к оттепели. Интенсивное потепление сопровождается выпадением дождей и частичным или полным исчезновением снежного покрова. Континентальные арктические воздушные массы вызывают почти ежегодное похолодание. Весной направление ветров становится менее устойчивым, появляется восточная составляющая, уменьшается облачность, реже выпадают осадки. Также весной наиболее отчетливо выражены различия в суточном ходе температур. Деятельность атлантических циклонов оказывает существенное влияние на климат, следствием чего является большое количество осадков. Зимой они являются причиной потеплений, а летом, наоборот, похолодания. Следствием деятельности воздушных масс и малым количеством тепла является повышенная влажность.

Для таежно-лесных континентальных гумидных областей характерны следующие показатели:

количество осадков 600-1000 мм/год, КУ — 1,0-2,0

средние температуры теплого месяца +10-+18 °С, холодного -19-+1 °С,

вегетационный период 60-150 дней.

В связи с преобладанием количества осадков над испаряемостью на данной территории распространен промывной тип водного режима.

В сочетании с топографическими условиями данные климатические особенности обуславливают процессы подзолообразования и заболачивания на территории Северо-Запада.

С избыточным увлажнением также можно связать наличие в данном регионе большого количества озер и достаточно густой речной сети.

2.2 Геология и рельеф

Моренные и озерно-ледниковые равнины широко распространены на территории Северо-Запада России. Северо-Западный экономический район, помимо прочих, включает в себя Ленинградскую и Псковскую области.

Почти вся европейская часть России расположена в пределах Восточно-Европейской (Русской) платформы, в состав которой входят Балтийский щит и Русская плита. К данной платформе приурочена Восточно-Европейская (Русская) равнина. (<https://geographyofrussia.com/geologicheskoe-stroenie-territorii-rossii/>)

Балтийский кристаллический щит, занимающий территорию Скандинавского полуострова и Карельского перешейка, сформирован древними архейскими и протерозойскими породами. Данные кристаллические породы часто выходят на поверхность. На территории Русской платформы кристаллический фундамент почти повсеместно погребен толщей осадочных пород (Гагарина, 2004).

На территории Северо-Запада преобладает равнинный характер поверхности, однако рельеф довольно разнообразен, часто встречаются отдельные возвышенности, холмы. На формирование рельефа данной местности существенное влияние оказала ледниковая деятельность. Территория неоднократно подвергалась оледенениям, однако окончательно рельеф был сформирован в результате отступления последнего Валдайского оледенения. (Матинян, 2003)

Согласно данным (Немков, Левицкий, 1986), Валдайское оледенение имело наименьшую площадь распространения, но этот период был наиболее холодным.

Благодаря относительной молодости поверхности Северо-Запада здесь сохранились свежие формы ледникового и водно-ледникового рельефа, а сами четвертичные осадки относительно слабо переработаны вторичными гипергенными и диагенетическими процессами и не погребены под покровными отложениями. (Гагарина, 2004)

Ледники производят разрушительную, транспортную и аккумулятивную работу. Вследствие ледниковой деятельности были сформированы четвертичные отложения,

перекрывающие кристаллические и осадочные породы на данной территории.
(Гагарина, 2004 г.)

С непосредственной деятельностью ледника связано отложение моренного материала. В результате аккумуляции основных морен образуются моренные равнины. Горизонтальная или слабонаклонная в целом поверхность моренных равнин, за исключением отдельных водно-ледниковых форм рельефа и долин имеет небольшие относительные повышения. Пологая волнистость поверхности моренных равнин обусловлена прежде всего мелкими неровностями ложа и отчасти некоторой неравномерностью распределения моренного материала под ледником и в его толще.
(Гагарина, 2004)

С образованием приледниковых водоемов связано сформирование озерно-ледниковых равнин. Образованию водоемов у края ледника способствовало усиленное таяние льда и наличие «плотины» из нагроможденного моренного материала, оставленного ледником в предыдущие стадии его таяния (Малаховский, Котлукова, 1988). Такие бассейны формировались в разные фазы развития ледника и на разных территориях: на поверхности и в полостях ледникового тела, в подпруженных ледником речных долинах, котловинах моренного рельефа и ложбинах ледникового размыва и выпахивания (Кухарчик, 2011).

2.3. Почвообразующие породы

Четвертичные отложения являются основными почвообразующими породами Северо-Запада. Их формирование происходило под влиянием деятельности ледника и связанных с ним талых вод.

Морены являются наиболее распространенным почвообразующим субстратом на территории Северо-Запада Русской равнины (Гагарина, 2004). Морена — это скопление обломков горных пород, перенесенных ледником и затем оставленных на месте при его таянии (Гагарина, Абакумов, 2012). В целом, различают основную, абляционную и конечную морены. Наиболее широко распространены основные морены, занимающие обширные площади территории растекания льда. Они образуются преимущественно из материала, заключенного между телом ледника и его ложем. Материал здесь сильно перетирается, образуется масса мелкозема. В рельефе основной морены соответствуют моренные равнины. Моренные отложения, формирующие моренные равнины, залегают

обычно в виде сплошного покрова (Гагарина, Абакумов, 2012). Характерной чертой моренных отложений является многокомпонентность гранулометрического, химического и минералогического состава. По гранулометрическому составу они могут быть песчаными, супесчаными, суглинистыми, глинистыми, валунными, каменистыми и гравийными (Гагарина, 2004).

На Карельском перешейке они хрящеватые песчаные и супесчаные, а к югу от ордовикского плато морена представляет собой средний, реже - тяжелый суглинок. Исключение составляют локальные морены, гранулометрический состав которых тесно связан с таковым подстилающих осадочных пород. Наиболее распространенной породой является красно-бурый моренный суглинок, выщелоченный от карбонатов на глубину от 30-40 см до 1-2 метров. Он покрывает почти 45 % поверхности Северо-Запада.

Кроме морен на территории Северо-Запада широко распространены водно-ледниковые отложения разного возраста, химического и гранулометрического состава. Отложения приледниковых озер накапливались талыми водами, скопившимися между краем ледника и возвышениями рельефа. Крупнейшие объемы формировались при деградации последнего ледника (Кухарчик, 2011). Большое распространение имеют двучленные наносы в виде маломощного слоя песка или супеси, залегающие на суглинистой морене. (Гагарина, Матинян, Сапрыкин, 1985)

Озерно-ледниковые отложения представлены ленточными глинами и озерно-ледниковыми песками.

Ленточные глины залегают на самых низких отметках территории, выстилая днища бывших глубоководных приледниковых бассейнов (Гагарина, Матинян, Сапрыкин, 1985) и характеризуются коричневато-бурой или серой окраской. Их важнейший диагностический признак – ритмичная горизонтальная слоистость, обусловленная сезонной дифференциацией осадконакопления. Летом потоки талых вод и ветры поставляли в озеро массу обломков разного размера. Крупные частицы оседали сразу, формируя на дне сравнительно мощный светлоокрашенный летний слой песчано-алевритового состава. Зимой озеро покрывалось льдом, привнос обломков резко слабел, вода не перемешивалась волнами – на дно медленно оседали самые мелкие частицы, до того пребывавшие во взвеси. Так возникал более тонкий темноокрашенный зимний слой глинистого состава (Кухарчик, 2011). Характер контакта сезонных слоев разнообразен, он может быть резким или постепенным. Формированию ленточных глин

с отчетливой слоистостью способствует значительная глубина бассейна и существование в нем двух водных горизонтов, различающихся по температуре и плотности (Марков, 1927). Окраска глин связана с влиянием подстилающих пород. В районах распространения кембрийских пород (Карельский перешеек, Приневская низина) ленточные глины имеют серый и светло-коричневый цвет, с продвижением на юг они приобретают красновато-коричневую окраску. Характерной чертой ленточных глин является их трещиноватость. (Матинян, 2003) Гранулометрический состав и химические свойства ленточных глин различных регионов подвержены некоторым колебаниям, что обусловлено глубиной и режимом позднеледниковых бассейнов. (Гагарина, 2004)

Озерно-ледниковые пески образуются из тонкообломочного материала и представляют собой хорошо отсортированный и перемытый материал. Они могут встречаться совместно с супесчаными и глинистыми отложениями (Сапрыкин, Кулачкова, 1984)

В качестве почвообразующих пород на территории Северо-Запада также выступают супеси и пески морского отложения, аллювиальные и озерные. (Гагарина, Матинян, Сапрыкин, 1985)

2.4. Растительный покров

Для данной территории леса являются коренным типом растительности. Наибольшее распространение имеют леса с преобладанием хвойных пород деревьев. Ельники приурочены, главным образом, к более тяжелым по гранулометрическому составу породам, сосняки – к более легким. Количество видов деревьев, образующих фитоценоз, обычно не велико. Среди хвойных деревьев присутствуют мелколиственные породы (береза, осина). Кустарниковый ярус (подлесок) относительно слабо развит в отличие от травяно-кустарничкового. В напочвенном покрове доминируют мхи и кустарнички. На заболоченных участках зеленые мхи сменяются сфагнумом. Характер лесов также существенно меняется от среднетаежных черничных зеленомошников к сложным южнотаежным лесам с широколиственным подлеском. На севере Карельского перешейка распространены сосняки лишайниковые и брусничные. Они характерны для дренированных поверхностей озерно-ледниковых равнин. Заболоченные участки занимают сосняки сфагновые и зеленомошные. На моренных равнинных территориях преобладают ельники зеленомошно-черничные и брусничные, без подлеска, а также

вторичные березняки. Ельники, в низинном ярусе которых присутствуют такие виды, как сныть, ландыш, медуница, копытень, кислица, майник, являются основным южнотаежных лесов. (Гагарина, 2004)

Характерной чертой растительного покрова данной местности является преобладание надземной растительной биомассы над подземной.

Растительный покров характеризуется наличием кислого опада, что благоприятствует развитию подзолистого процесса.

Глава 3. Объекты и методы

В качестве объектов исследования выбраны пахотные почвы моренных и озерно-ледниковых равнин Ленинградской и Псковской областей. В работе были использованы почвенные образцы разрезов, отобранные сотрудниками лаборатории географии почв в рамках международного проекта "Agricultural soils in northern Europe".

Для исследования были взяты образцы из восьми почвенных разрезов, четыре из которых заложены на моренных отложениях и четыре – на озерно-ледниковых.

Исследуемые почвы (описания разрезов в приложении 1)

Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4);

Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5);

Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10);

Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16);

Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18);

Агродерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая на морене (разрез № 25);

Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30);

Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72).

Методы исследования:

1. Определение гранулометрического состава (метод Н. А. Качинского)
2. Физико-химических и химических параметров почв по общепринятым методикам (Е. В. Аринушкина);
3. Масс-спектрометрия – для определения валовых форм микроэлементов, выполнено в Германии (методом ICP-MS);
4. Атомно-абсорбционный метод – для определения подвижных форм микроэлементов (на атомно-абсорбционном спектрометре марки AA-7000 Shimadzu)

Глава 4. Результаты и обсуждения

4.1 Гранулометрический состав

Гранулометрический состав в значительной степени влияет на свойства почв и направленность почвообразующих процессов.

Почвообразующие породы различны по своему гранулометрическому составу в связи с различными условиями их формирования. Ленточные глины (разрез 4), сформированные в глубоких приледниковых водоемах, выделяются преобладанием илистой фракции и высоким содержанием физической глины (67,32%), содержание песчаных фракций незначительно. Вследствие большого содержания тонкодисперсных фракций глины характеризуются высокой плотностью и малой водопроницаемостью. Озерно-ледниковые пески (разрезы 5, 10, 30), напротив, выделяются высоким содержанием песчаных фракций и небольшим – илистой, что обеспечивает хороший дренаж и небольшую поглотительную способность. В гранулометрическом составе морен (16,18,25,72) не наблюдается явного преобладания какой-либо одной фракции, что объясняется неоднородностью обломочного материала, в процессе отложения которого происходило формирование данного типа почвообразующих пород. Согласно классификации почв по гранулометрическому составу (по Н. А. Качинскому), по содержанию илистой фракции моренные отложения относятся к легкому-среднему суглинку.

Анализ гранулометрического состава пахотных горизонтов выявил некоторые закономерности. Так, в пахотном горизонте почвы на ленточной глине (разрез 4) становится заметным преобладание фракции крупной пыли, отмечается резкое снижение илистой фракции и физической глины. Возможно, это вызвано смыванием тонкодисперсных фракций под влиянием климатических условий. Данный горизонт является среднесуглинистым и, как видно из таблицы (Таблица 2), наиболее тяжелым среди исследованных пахотных горизонтов. Верхние горизонты почв на озерно-ледниковых песках (5, 10, 30) обладают легким гранулометрическим составом (песок/супесь) с высоким содержанием песчаных фракций. В данном случае наблюдается увеличение доли частиц размером 1,00-0,25 мм. В почвах на моренах (16,18,25,72) наблюдается более легкий гранулометрический состав пахотных горизонтов (супесь/легкий суглинок) по сравнению с почвообразующей породой, а распределение самих фракций практически не отличается.

Таблица 2

Гранулометрический состав пахотных горизонтов и почвообразующих пород

Горизонт	Глубина, см	Размер частиц, мм						
		1,00-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)								
P	0-26	3,10	26,32	33,54	13,38	14,62	9,04	37,04
C	70-95	2,31	10,62	19,75	19,87	21,89	25,56	67,32
Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5)								
P	0-35	13,92	38,07	34,47	3,02	5,68	4,84	13,54
Cg	70-80	9,71	37,83	24,05	12,09	10,14	6,18	28,41
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)								
P	0-27	33,82	43,67	10,88	3,18	6,03	2,42	11,63
C	57-90	13,79	58,31	19,63	2,56	2,35	3,36	8,27
Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16)								
P	0-30	17,39	46,55	25,45	9,57	3,08	3,96	10,61
C	82-92	18,54	20,19	30,21	19,38	4,65	7,03	31,06
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18)								
P	0-34	13,64	51,72	11,79	8,43	9,05	5,37	22,85
BC	80-100	14,89	22,15	32,75	14,53	12,74	7,64	30,21
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез №25)								
P	0-27	12,75	37,94	27,15	9,41	6,58	5,17	22,16
Cg	80-90	13,52	27,81	28,09	12,84	7,21	10,53	30,58
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30)								
P	0-25	25,55	48,67	16,12	3,11	4,51	2,04	9,66
C	105-110	14,85	65,39	12,33	2,39	1,87	3,17	7,43
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72)								
P	0-27	15,33	35,94	31,10	8,57	5,19	3,87	17,63
C	86-110	12,07	29,12	31,51	9,93	8,51	8,86	27,30

По результатам анализа можно сделать вывод о том, что, в целом, верхние горизонты наследуют признаки почвообразующих пород. Это подтверждается схожим распределением частиц разного размера в породах и верхних горизонтах. Отмечается уменьшение содержания илистой фракции во всех пахотных горизонтах по сравнению с почвообразующими породами.

4.2 Физико-химическая характеристика

По показателям кислотности (таблица 3) все исследуемые почвообразующие породы не имеют существенных различий, рН колеблется от 6,0 до 6,7 (слабокислая, почти нейтральная реакция среды), характерна низкая гидролитическая кислотность в пределах от 0,36 до 1,79 мг-экв/100 г почвы. По содержанию обменных кальция и магния, в целом, на первом месте стоят морены. Возможно, сказывается незначительное влияние нижележащих карбонатных пород. Во всех исследуемых породах емкость катионного обмена (ЕКО) не велика.

Наблюдается увеличение значения рН в пахотном горизонте почвы на ленточных глинах и, наоборот, снижение – на озерно-ледниковых песках, но, как и в случае с почвообразующими породами, все образцы гумусовых горизонтов характеризуются слабокислой, близкой к нейтральной, реакцией среды. В большинстве случаев наблюдается увеличение ЕКО, гидролитической кислотности, суммы поглощенных оснований (Ca+Mg).

Содержание гумуса в верхних горизонтах почв колеблется от 2,24% в агродерново-подзолистой супесчаной почве на морене (разрез № 16) до 4,24% в агроземе структурно-метаморфическом глееватом среднесуглинистом на ленточных глинах (разрез № 4). По данному показателю все почвы характеризуются достаточной обеспеченностью.

Физико-химические свойства в значительной степени подвержены изменениям в результате использования в сельском хозяйстве. Наблюдаемые в пахотных горизонтах величины физико-химических показателей могут быть следствием обработки почв.

Таблица 3
Физико-химическая характеристика

Горизонт	рНКСl	Нг	Са+Mg	Са	Mg	ЕКО	углерод	Гумус
		мг-экв/100 г почвы					%	
Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)								
Р	6,9	2,14	9,67	5,33	4,34	11,81	2,46	4,24
Сg	6,1	0,57	6,54	3,82	2,72	7,11	-	-
Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5)								
Р	6,5	2,31	6,01	4,08	1,93	8,32	1,53	2,64
Сg	6,5	1,14	6,15	3,07	3,09	7,29	-	-
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)								
Р	5,9	2,19	8,15	5,7	2,45	10,34	2,11	3,64
С	6,1	1,79	5,33	3,46	1,87	7,12	-	-
Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16)								
Р	6,6	3,09	8,24	5,17	3,07	11,33	1,3	2,24
С	6	1,01	8,97	5,47	3,5	9,98	-	-
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18)								
Р	6,7	2,45	9,95	7,26	2,69	12,4	1,57	2,71
С	6,6	0,98	7,15	4,39	2,76	8,13	-	-
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез №25)								
Р	6,2	1,44	10,36	6,87	3,49	11,8	1,46	2,52
Сg	6,7	0,52	10,48	6,04	4,44	11	-	-
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30)								
Р	6	1,56	7,93	4,08	3,85	9,49	1,53	2,64
С	6,2	0,36	5,31	3,45	1,86	5,67	-	-
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72)								
Р	5,8	2,08	8,54	4,83	3,71	10,62	1,49	2,57
С	6,7	0,71	8,93	5,31	3,62	9,64	-	-

4.3 Фракционно-групповой состав гумуса пахотных горизонтов

Существенной характеристикой гумуса является его фракционно-групповой состав.

По полученным данным (таблица 4) во всех образцах пахотных горизонтов почв наблюдается преобладание фульвокислот над гуминовыми кислотами. Среди гумусовых кислот преобладают первые (свободные) фракции фульвокислот и гуминовых кислот. Доля гуминовых кислот наиболее высока в пахотных горизонтах двух разрезов озерно-ледниковых равнин (разрез № 4 - агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах и разрез № 10 - агрозем альфегумусовый иллювиально-железисто-гумусовый супесчаный на озерно-ледниковых песках), в которых соотношение $S_{гк}$ к $S_{фк}$ указывает на гуматно-фульватный тип гумуса. В остальных случаях тип гумуса – фульватный.

Во всех исследуемых образцах не велико содержание второй фракции фульвокислот и гуминовых кислот, что связано с невысоким содержанием обменного кальция в почвенном поглощающем комплексе, поскольку данные фракции связаны именно с кальцием.

Соотношение гуминовых и фульвокислот может быть обусловлено применением различных агротехнических или других мероприятий, связанных с использованием почв в сельском хозяйстве.

Также можно судить о процессах миграции химических элементов в пахотных горизонтах почв по преобладающей группе гумусовых кислот, так как существуют различия в их растворимости, а, следовательно, и в подвижности. Фульвокислоты, являясь более агрессивной группой гумусовых кислот способны образовывать растворимые соединения с различными металлами.

Таблица 4
Фракционно-групповой состав гумуса

%										
Горизонт	С общ.	Гуминовые кислоты		Сумма	Фульвокислоты			Сумма	Сгк/ Сфк	Н.о.
		I	II		Ia	I	II			
Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)										
P	2,46	0,41	0,26	0,67	0,12	0,83	0,18	1,13	0,59	0,66
Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5)										
P	1,53	0,39	0,06	0,45	0,10	0,71	0,12	0,93	0,48	0,15
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)										
P	2,11	0,46	0,12	0,58	0,08	0,90	0,02	1,00	0,58	0,53
Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16)										
P	1,30	0,12	0,07	0,19	0,16	0,23	0,10	0,49	0,39	0,62
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18)										
P	1,57	0,21	0,08	0,29	0,17	0,65	0,05	0,87	0,33	0,41
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез №25)										
P	1,46	0,24	0,07	0,31	0,14	0,59	0,04	0,77	0,40	0,38
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30)										
P	1,53	0,26	0,09	0,35	0,14	0,46	0,11	0,71	0,49	0,45
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72)										
P	1,49	0,19	0,03	0,22	0,16	0,30	0,13	0,59	0,37	0,68

4.4 Валовой химический анализ

Валовой химический анализ почв дает представление об общем содержании в почве тех или иных химических элементов, их накоплении или выносе.

Анализ почвообразующих пород показал, что исследуемые образцы заметно различаются по макроэлементному составу, что тесно связано с гранулометрическим составом (таблица 5).

В целом, наиболее богатыми по содержанию макроэлементов являются ленточные глины, пески - наиболее бедными, морены занимают промежуточное положение. Озерно-ледниковые пески и морены отличаются высоким содержанием кремнезема (76-90%), в ленточных глинах содержание кремнезема наименьшее (63 %) из всех образцов. Озерно-ледниковые пески богаче моренных отложений по содержанию натрия, морены по отношению к пескам содержат больше железа. Данные анализа химического состава объясняются различиями в минералогическом составе почвообразующих пород.

Вычисление коэффициентов выноса/аккумуляции элементов (по отношению содержания элемента в почве/породе к фоновому содержанию) дает возможность оценить обеспеченность почв химическими элементами. В качестве фона было взято среднее содержание в породах Северо-Запада из литературных источников (рисунок 1).

Анализ макроэлементного состава исследуемых пород относительно фоновых значений показал, что только в ленточных глинах содержание химических элементов выше фонового. В большей степени по сравнению с другими элементами происходит накопление железа, магния и титана в данном образце. Озерно-ледниковые пески и морены, в целом, обеднены, так как коэффициент аккумуляции/выноса относительно большинства элементов меньше 1. Однако пески богаты кремнеземом, в двух образцах почв на озерно-ледниковых песках наблюдается также высокое по сравнению с фоном содержание кальция и натрия, а химический состав морен варьируется в зависимости от объекта – в различных образцах наблюдается повышенное содержание кальция, калия, натрия или фосфора.

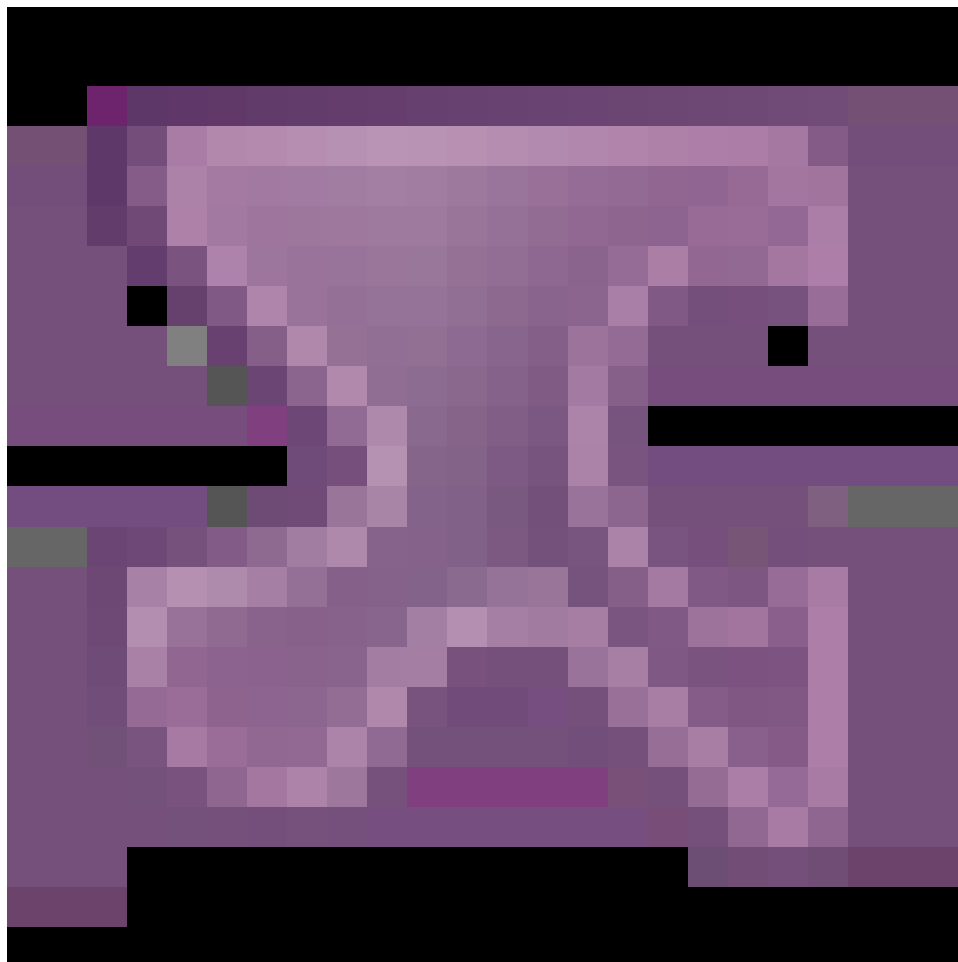
В целом, анализ пахотных горизонтов дал похожие результаты (таблица 5): по обогащенности макроэлементами выделяются почвы на ленточных глинах.

Таблица 5

Валовой химический анализ пахотных горизонтов и почвообразующих пород

% на прокаленную навеску почвы											
Горизонт	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	сумма
Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)											
P	63,89	16,19	5,33	0,77	0,06	6,30	1,84	2,35	2,10	0,34	99,16
Cg	63,62	16,87	6,98	0,87	0,09	2,48	2,89	2,99	2,95	0,18	99,92
Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5)											
P	77,18	11,84	2,02	0,36	0,04	2,41	0,47	2,32	2,49	0,20	99,33
Cg	76,21	13,00	2,50	0,37	0,04	1,88	0,69	2,27	2,85	0,12	99,92
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)											
P	79,48	10,38	2,89	0,55	0,10	1,83	0,48	2,52	1,28	0,36	99,87
C	78,26	11,23	2,47	0,36	0,04	2,14	0,73	1,69	3,08	0,10	100,11
Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16)											
P	82,01	9,30	2,42	0,53	0,09	1,11	0,57	2,08	1,27	0,14	99,52
C	86,35	7,52	3,04	0,41	0,04	0,21	0,51	1,81	0,30	0,07	100,26
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18)											
P	84,79	7,47	2,08	0,45	0,10	0,85	0,41	2,60	0,79	0,22	99,77
C	81,14	9,68	3,19	0,46	0,05	0,50	0,69	2,71	0,73	0,09	99,26
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 25)											
P	81,21	9,59	3,10	0,58	0,13	0,92	0,62	2,16	1,06	0,20	99,58
Cg	82,01	9,46	3,11	0,45	0,08	0,80	0,58	2,08	1,04	0,17	99,78
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30)											
P	84,90	7,83	1,88	0,45	0,05	0,98	0,41	1,79	1,12	0,22	99,64
C	90,87	5,26	0,58	0,20	0,01	0,58	0,11	1,53	1,02	0,04	100,18
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72)											
P	83,81	7,94	1,94	0,45	0,06	1,09	0,46	2,41	1,09	0,25	99,49
C	85,53	7,60	2,28	0,37	0,04	0,46	0,41	1,97	0,65	0,07	99,38

Рисунок 1
Содержание макроэлементов в почвообразующих породах относительно фона



Был проведен анализ содержания химических элементов в пахотных горизонтах относительно почвообразующих пород путем вычисления коэффициента аккумуляции/выноса (отношение содержания элемента в генетическом горизонте к содержанию в почвообразующей породе) и построения на его основе графиков. За единицу на графике принято содержание в почвообразующей породе.

Для примера приведены три графика пахотных горизонтов почв на разных отложениях (рисунок 2, 3, 4). Из графиков следует, что в пахотных горизонтах почв на ленточных глинах происходит накопление кальция и фосфора, в почвах на озерно-ледниковых песках – титана, марганца, калия и фосфора, в почвах на морене наблюдается вынос железа и алюминия и накопление почти всех остальных элементов.

В гумусовых горизонтах всех почв наблюдается повышенное содержание фосфора и калия по сравнению с почвообразующими породами, что может быть обусловлено антропогенным воздействием, например, внесением удобрений.

Рисунок 2. Кривая аккумуляции/выноса макроэлементов в пахотном горизонте по отношению к почвообразующей породе, Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)

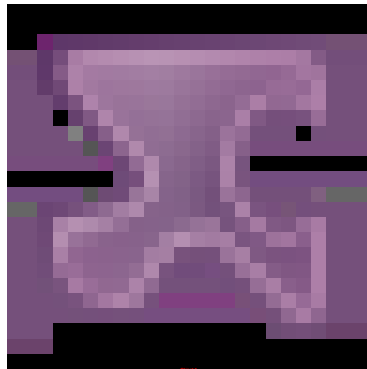


Рисунок 3. Кривая аккумуляции/выноса макроэлементов в пахотном горизонте по отношению к почвообразующей породе, Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)

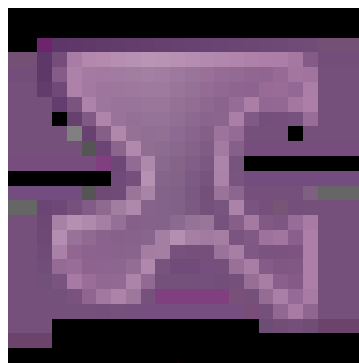
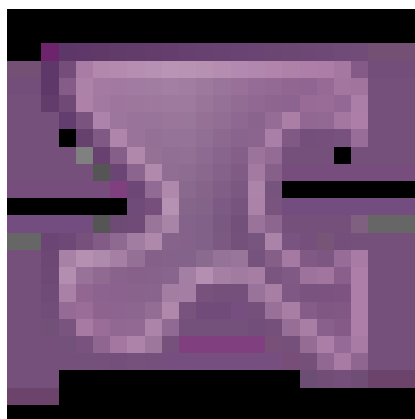


Рисунок 4. Кривая аккумуляции/выноса макроэлементов в пахотном горизонте по отношению к почвообразующей породе, Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез №25)



4.5 Определение микроэлементов

В ходе исследования было определено содержание пяти микроэлементов: хром, медь, никель, свинец и цинк.

Из таблицы валового содержания микроэлементов в почвообразующих породах (таблица 6) видно, что ленточные глины наиболее обогащены микроэлементами. Возможно, это связано с преобладанием илистой фракции, точнее с сорбционной способностью глинистых минералов, а также с содержанием органического вещества.

Образец на озерно-ледниковых песках (разрез № 30) является наиболее обедненным по сравнению со всеми исследуемыми породами. В остальных образцах озерно-ледниковых песков содержание всех пяти микроэлементов также ниже фонового.

Морены по данным показателями немного богаче озерно-ледниковых песков. Таким образом, они занимают промежуточное положение.

В целом, во всех породах преобладающими микроэлементами являются хром и цинк. Содержание всех исследуемых микроэлементов во многом связано с гранулометрическим составом пород. Это наблюдается в случае с ленточными глинами, а также озерно-ледниковыми песками – образец с наиболее легким гранулометрическим составом содержит наименьшее количество микроэлементов (разрез №30).

Отмечается еще одна закономерность: наибольшее накопление микроэлементов происходит в образцах почвообразующих пород с признаками оглеения (разрезы 4, 5, 25). Возможно, глеевый процесс способствует концентрации микроэлементов в данном случае. Существует мнение о зависимости содержания микроэлементов от степени оглеения (Сапрыкин, 1984).

Аналогично анализу макроэлементов было рассмотрено содержание микроэлементов в исследуемых породах относительно фонового содержания в породах региона (рисунок 5). На основе полученных данных можно сделать вывод, что ленточные глины накапливают количество микроэлементов выше фонового, в отличие от морен и песков. В образце ленточных глин особенно выделяется повышенное содержание хрома, никеля и цинка, концентрация которых в 2-3 раза выше относительно содержания в других образцах почвообразующих пород. Из всех микроэлементов в озерно-ледниковых песках наиболее явно выражен дефицит меди относительно фона.

Валовое содержание микроэлементов в породах

Почвообразующая порода, № разреза	мг/кг				
	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ленточная глина, р.№ 4	96,50	34,30	45,40	17,50	95,70
Озерно-ледниковые пески, р. №5	29,80	4,90	10,40	14,80	30,50
Озерно-ледниковые пески, р. №10	35,20	7,00	12,40	9,30	18,60
Морена, р.№16	30,40	11,80	13,40	8,10	26,30
Морена, р.№18	34,90	4,90	5,90	12,90	26,90
Морена, р.№25	26,20	27,90	14,70	14,60	39,00
Озерно-ледниковые пески, р. №30	7,40	3,20	2,00	8,00	12,00
Морена, р.№72	25,00	11,60	11,90	10,80	27,80

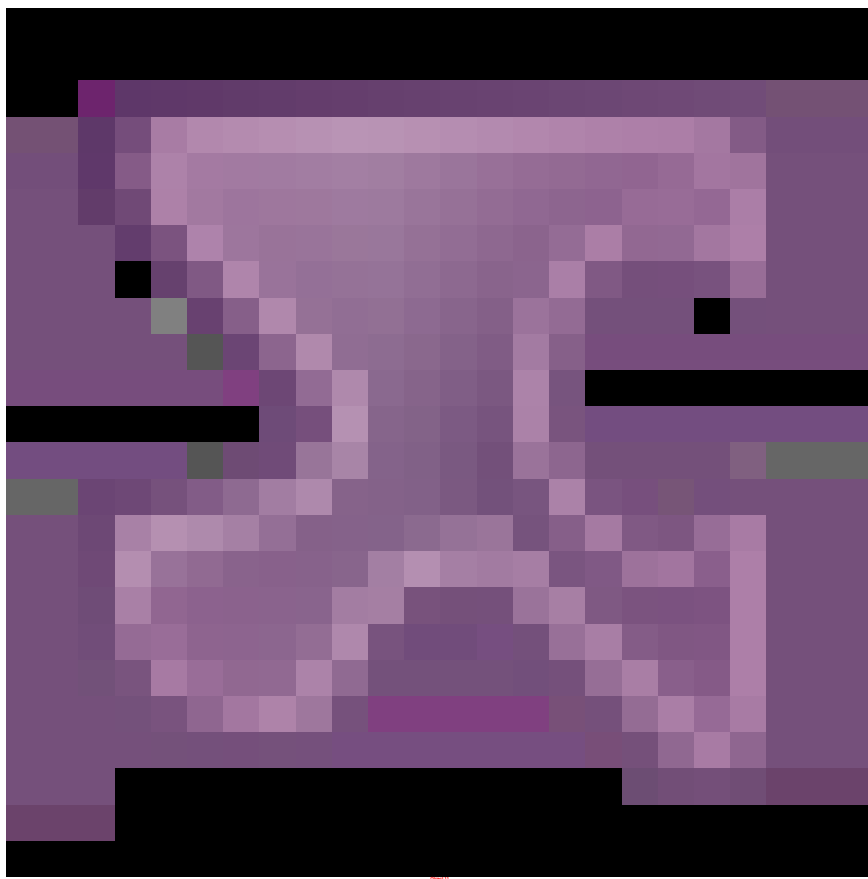
Таблица 7

Валовое содержание микроэлементов в пахотном горизонте

Почва	мг/кг				
	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)	73,20	44,50	34,00	20,60	71,90
Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5)	20,70	5,77	6,20	18,10	26,00
Агрозем альфегумусовый илллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)	23,70	12,00	10,60	23,20	53,90
Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16)	27,30	7,13	11,60	15,80	42,50
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18)	17,70	5,74	7,10	13,80	39,00
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез №25)	29,80	13,00	12,30	17,90	51,00
Агрозем альфегумусовый илллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30)	22,80	9,09	8,90	12,30	34,00
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72)	20,20	5,70	6,80	15,10	35,80

Рисунок 5

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах относительно фона



Валовое содержание микроэлементов в пахотных горизонтах коррелирует с концентрацией микроэлементов в породе. Например, гумусовый горизонт почвы на ленточных глинах выделяется наибольшим содержанием всех микроэлементов, содержание хрома и цинка во всех образцах гумусовых горизонтов выделяется среди всех исследуемых микроэлементов, что было отмечено в микроэлементном составе почвообразующих пород. Таким образом, как и в случае с содержанием микроэлементов в почвообразующих породах, верхний горизонт почвы на ленточной глине отличается по отношению концентрации микроэлементов в пахотных горизонтах данных образцов к фоновому содержанию в гумусовых горизонтах почв региона. Пахотные горизонты почв на озерно-ледниковых песках отличаются наиболее низким содержанием меди, что также отмечено при анализе почвообразующих пород.

Для всех почв был вычислен коэффициент аккумуляции/выноса микроэлементов в верхнем горизонте относительно почвообразующей породы. Для примера приведены графики тех же разрезов, что и для кривых аккумуляции/выноса макроэлементов. За единицу принято содержание в породе. Общим признаком для всех почв является накопление свинца. В почвах на морене отмечено также накопление цинка, в почвах на ленточных глинах и озерно-ледниковых песках – накопление меди. Один образец почв на озерно-ледниковых песках выделяется накоплением всех микроэлементов (разрез № 30).

Аккумуляция свинца в пахотных горизонтах предположительно связана с антропогенным воздействием.

Доля подвижных форм микроэлементов в пахотных горизонтах всех исследуемых образцов невелика (таблица 8), исключение составляют цинк и свинец в разрезах № 4 и 5, хром - в разрезах № 25 и 30. Никель и медь малоподвижны, их доля не превышает 3 %. Наименьшая подвижность никеля наблюдается в верхних горизонтах почв на моренных отложениях.

Подвижность микроэлементов зависит от множества факторов (рН, содержание гумуса, гранулометрический состав, окислительно-восстановительный потенциал) и требует дальнейших исследований.

Содержание микроэлементов в пахотных горизонтах относительно фона

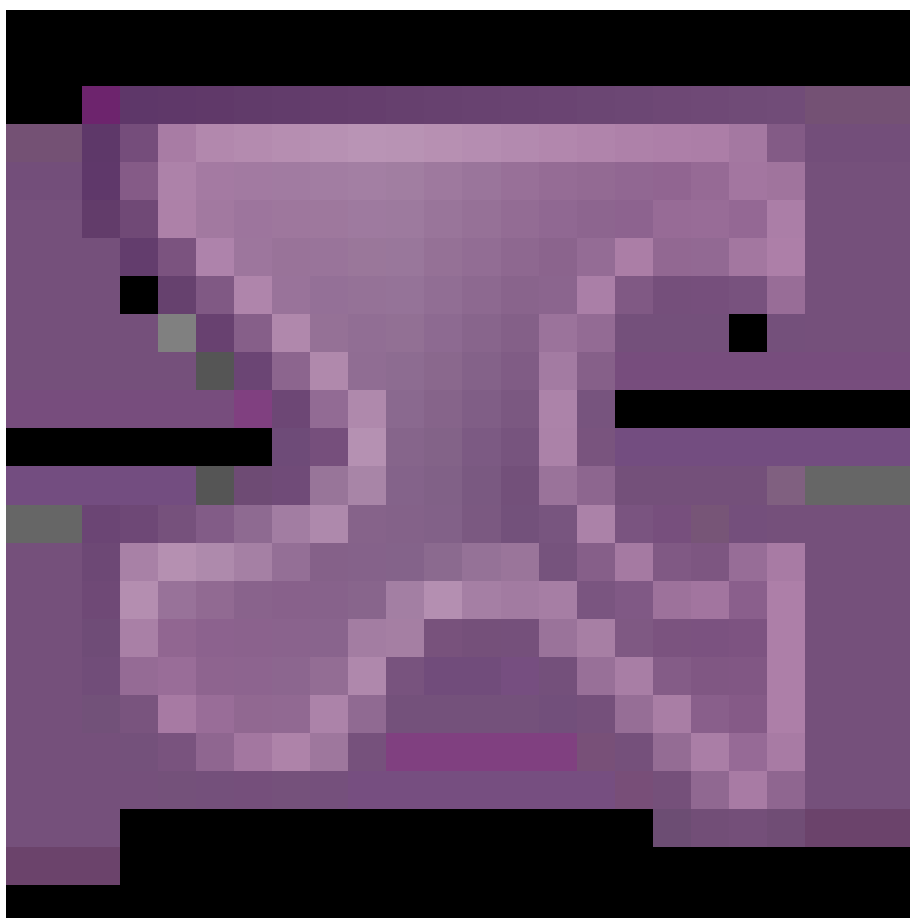


Рисунок 7. Кривая аккумуляции/выноса микроэлементов в пахотном горизонте по отношению к почвообразующей породе, Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)

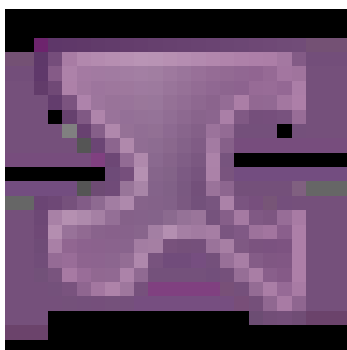


Рисунок 8. Кривая аккумуляции/выноса микроэлементов в пахотном горизонте по отношению к почвообразующей породе, Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)

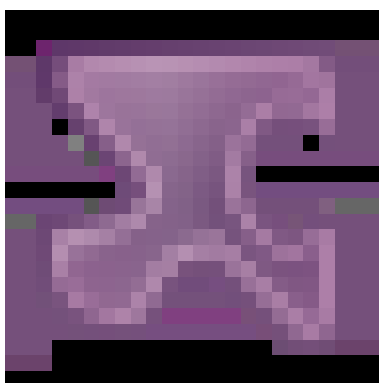
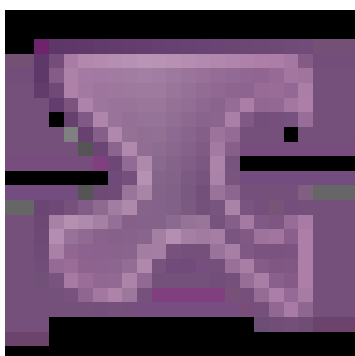


Рисунок 9. Кривая аккумуляции/выноса макроэлементов в пахотном горизонте по отношению к почвообразующей породе, Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез №25)



Доля подвижных микроэлементов в пахотных горизонтах

Доля подвижных микроэлементов от общего содержания, %					
Почва	Cr	Cu	Zn	Ni	Pb
Агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах (разрез № 4)	3,22	1,83	23,95	2,10	11,15
Агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 5)	8,78	2,90	40,03	3,52	11,87
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 10)	1,83	1,17	12,11	1,29	3,99
Агродерново-подзолистая супесчаная на морене (разрез № 16)	1,79	1,46	7,92	0,73	6,83
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 18)	6,72	2,15	4,18	0,73	3,41
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 25)	17,12	1,54	2,36	0,50	2,54
Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках (разрез № 30)	23,61	3,07	4,46	1,77	3,75
Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене (разрез № 72)	1,98	1,79	13,82	-	1,23

Выводы

Сравнительная характеристика пахотных горизонтов и почвообразующих пород моренных и озерно-ледниковых равнин по физико-химическим параметрам показала, что исследуемые объекты обладают сходными свойствами, значения показателей колеблются в небольших пределах.

С помощью анализа макроэлементного состава было выяснено, что в верхних горизонтах данных почв происходит накопление фосфора и в большинстве случаев – калия.

В результате проведенного анализа микроэлементного состава была выявлена корреляция между содержанием микроэлементов в пахотных горизонтах и в породах. Содержание микроэлементов в почвах находится в тесной связи с гранулометрическим составом, с утяжелением которого повышается накопление микроэлементов. В исследованных пахотных почвах происходит накопление свинца, по общему содержанию преобладает хром и цинк среди микроэлементов, относительно которых было проведен анализ. Доля подвижных элементов, в целом, не велика. Наиболее подвижными микроэлементами в данном регионе являются цинк и хром.

Для почв, сформированных на ленточных глинах, характерно накопление меди и свинца в верхнем горизонте, на озерно-ледниковых – меди, свинца и цинка, на моренных – хрома, свинца и цинка.

Заключение

В целом, пахотные почвы озерно-ледниковых и моренных равнин имеют некоторые различия в микроэлементном составе. Однако имеются общие закономерности для всех образцов.

В ряде случаев отмечается высокая концентрация калия, фосфора, свинца, что может быть связано с внесением удобрений, известкования, биологической аккумуляцией или различными видами антропогенного воздействия.

Общее содержание микроэлементов в пахотных горизонтах, в основном, ниже фонового. Концентрация тяжелых металлов не превышает ПДК и ОДК.

По многим характеристикам (содержание гумуса, кислотность, гранулометрический состав) агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах является наиболее благоприятной для ведения сельского хозяйства.

Литература

1. Авторский коллектив. Почвенно-геохимические карты Ленинградской области. Масштаб 1:600 000. Объяснительная записка // Л., 1984. 195 с.
2. Битюцкий Н. П. Микроэлементы и растение. Учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1999, 232 с.
3. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., АН СССР, 1957
4. Гагарина Э. И. Литологический фактор почвообразования (на примере Северо-Запада Русской равнины). СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004, 260 с.
5. Дабахов М. В., Дабахова Е. В., Титова В. И. Экотоксикология и проблемы нормирования / Нижегородская гос. с.-х. академия. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005, 165с.
6. Ковальский В. В, Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: «Наука», 1970, 180 с.
7. Ковда В. А., Зырин Н. Г. Микроэлементы в почвах советского союза, Вып.1, Микроэлементы в почвах европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1973, 282 с.
8. Ковда В. А., Якушевская И. В, Тюрюканов А. Н. Микроэлементы в почвах советского союза. М.: Изд-во МГУ, 1959, 67 с.
9. Кухарчик, Ю. В. Геология четвертичных отложений: пособие. Минск : БГУ, 2011,160 с.
10. Матинян Н. Н. Почвообразование на ленточных глинах озерно-ледниковых равнин Северо-Запада России. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2003, 200 с.
11. Муха В. Д., Картамышев Н. И, Муха Д. В. Агрочвоведение / Под ред. В. Д. Мухи.М.: КолосС, 2003, 528 с.
12. Наумов В. Д. География почв. М.: КолосС, 2008, 288 с.
13. Немков Г. И., Левицкий Е. С., Гречишников И. А. Историческая геология. Учебник для вузов. М.: Недра, 1986, 352 с.
14. Пестряков В. К. Окультуривание почв Северо-Запада. Л.: «Колос», 1977, 343 с.
15. Самойлова Е.М. Почвообразующие породы. М.: Изд-во МГУ, 1991, 176 с.
16. Справочник по климату СССР, ч.2, выпуск 3, Ленинград, 1965, Справочник по климату СССР, ч.4, выпуск 3, Ленинград, 1968
17. Федоров А. С, Горячкин С. В, Касаткина Г. А., ФедороваН.Н. География почв: учеб, пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2013, 256 с.
Статьи в сборниках:

1. Гагарина Э. И., Матинян Н. Н., Счастливая Л. С., Сапрыкин Ф. Я., Кулачкова А. Ф. Основные закономерности распространения микроэлементов в почвообразующих породах Северо-Запада РСФСР // Гумус и почвообразование в Нечерноземной зоне. Л.: Ленингр. ун-т, 1985, с 170 – 195.
2. Марков К. К., Ленточные глины и связанные с ними проблемы по исследованиям последних лет // Изв. Гос. Геогр. Об-ва, 1927
3. Сапрыкин Ф.Н., Кулачкова А.Ф, Микроэлементы в почвах // Геохимические карты Ленинградской области, 1984.

Ресурсы сети Интернет:

1. <http://www.ecosystema.ru/08nature/world/geoussr/2-1-3.htm> Физическая география России и СССР
2. <http://bse.sci-lib.com/article076447.html> Статья о микроэлементах
3. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/681.html> Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных (Протасова Н.А., 1998), биология
4. <https://geographyofrussia.com/geologicheskoe-stroenie-territorii-rossii/> Геологическое строение территории России
5. <http://www.ecosystema.ru/08nature/world/geoussr/2-1-3.htm> Важнейшие события четвертичного периода и их отражение в современном рельефе
6. <http://agrohimiya24.ru/mikroelementy/2041-podvizhnost-medi-v-pochve.html> Подвижность меди в почве
7. <http://agrohimiya24.ru/mikroelementy/2040-podvizhnost-cinka-v-pochve.html> Подвижность цинка в почве
8. http://www.bygeo.ru/materialy/pervyi_kurs/pochvovedi-zem-res-u-chtenie/1769-tyazhelye-metally-v-pochvah.html Тяжелые металлы в почве
9. <http://agrohimiya24.ru/tyazhelye-metally/782-soderzhanie-svinca-v-pochve.html> Содержание свинца в почве
10. <https://geographyofrussia.com/soderzhanie-svinca-v-pochvax> Содержание свинца в почве
11. <http://agrohimiya24.ru/tyazhelye-metally/784-soderzhanie-hroma-i-litiya-v-pochve.html> Содержание хрома и лития в почве
12. <http://xreferat.com/112/3519-2-rol-tyazhelyh-metallov-v-ekosfere.html> Роль тяжелых металлов в экосфере

Приложение 1

Описание разрезов

Разрез 4

Север Ленинградской области, вблизи дороги на Севастьяново, равнинный участок, пашня с посевами многолетних трав.

Горизонт	Глубина, см	Описание
Р	0 – 26	Темно серый с буроватым оттенком, среднесуглинистый, комковато-зернистый, уплотненный, пронизан корнями, переход ясный по цвету
ВМ (фрагмент)	26 – 36	Буро-коричневый, встречаются ржавые пятна, среднесуглинистый, комковато-плитчатый, плотный, встречаются конкреции, переход ясный по цвету и структуре
ВМg	36 – 70	Буроватый с сизыми тонами, охристыми пятнами, плитчато-глыбистый, тяжелосуглинистый, плотный, переход ясный по цвету
Сg	70 – 95	Сизоватый, плитчатый, слоистый с пылеватыми прослойками, глинистый, очень плотный

Почва: агрозем структурно-метаморфический глееватый среднесуглинистый на ленточных глинах

Разрез 5

Север Ленинградской области, вблизи дороги на Каменогорск, равнинный участок, пастбище с посевами многолетних трав.

Горизонт	Глубина, см	Описание
Р	0 – 35	Темно-серый, супесчаный, уплотненный, встречаются корни травянистой растительности, комковатый, переход ясный по цвету
ВНF	35 – 51	Кофейно-ржавый, супесчаный, плотный, с железистыми и гумусовыми пленками, бесструктурный, переход заметный по цвету
ВНFg	51 – 80	Коричневатый с сизым оттенком, с обилием пленок, увеличивающихся книзу, супесчаный, бесструктурный
Сg	80 – 90	Сизоватый, песчаный, бесструктурный

Почва: агрозем альфегумусовый глееватый супесчаный на озерно-ледниковых песках

Разрез 10

Ленинградская область, озерно-ледниковая равнина, пашня

Горизонт	Глубина, см	Описание
Р	0 – 27	Темно-серый, супесчаный, встречаются линзы торфа, рыхлый, обилие корней, переход ясный
ВF	27 – 57	Охристо-желтый, песчаный, тонкозернистый, железистые разводы, уплотненный, переход заметный по плотности
С	57 – 90	Светло-желтый, песчаный, встречаются линзы темно-желтого песка, плотнее предыдущего, плитчатый

Почва: Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый супесчаный на озерно-ледниковых песках

Разрез 16

Ленинградская область, Лужский район, моренная равнина, участок с посевами овса.

Горизонт	Глубина, см	Описание
Р	0 – 34	Палево-желтый, супесчаный, рыхлый, бесструктурный, обилие червей, с гумусовыми затеками, переход ясный по

		цвету
BEL	34 - 58	Буровато-коричневый, с желто-палевыми пятнами, языковатый, легкосуглинистый, плотный, переход заметный по цвету
BT	58 – 82	Коричневато-бурый, с палевыми и красно-бурыми пятнами, среднесуглинистый, опесчаненный, плотный, переход ясный по цвету
C	82 – 92	Красно-бурый, среднесуглинистый, плотный, плитчатый

Почва: Агродерново-подзолистая супесчаная на морене

Разрез 18

Псковская область, волнистая моренная равнина, участок с посевами овса по пшенице.

Горизонт	Глубина, см	Описание
P	0 – 34	Серый, я пятнами торфокомпоста, встречаются пятна белесого цвета (припашка из нижележащего горизонта), легкосуглинистый, обилие корней, уплотненный, комковатый, переход ясный по цвету
BEL	34 – 45	Белесовато-палевый, уплотненный, легкосуглинистый, пластинчатый, с червороинами, переход постепенный
BT1	45 – 62	Буровато-коричневый с красноватым оттенком, плитчато-ореховатый, среднесуглинистый, с глинистыми кутанами по граням структурных отдельностей, переход постепенный
BT2	62 – 80	Коричневато-бурый, с красноватым оттенком, плотный, плотнее предыдущего, среднесуглинистый, ореховато-призматический, с глинистыми кутанами, конкрециями, переход постепенный
C	80 – 100	Красно-бурый, среднесуглинистый, плитчатый, плотный

Почва: Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене

Разрез 25

Ленинградская область, моренная равнина, участок с посевами однолетних трав.

Горизонт	Глубина, см	Описание
P	0 – 27	Светло-серый, комковато-пылеватый, рыхлый, легкосуглинистый с обилием корней, с 20 см – белесые пятна, переход ясный по цвету и плотности
BEL	27 – 35	Пятна белесых, коричневато-бурых тонов, плитчатый, супесчаный (светлые тона), легкосуглинистый (коричневато-буроватые тона), с отдельными гумусовыми затеками по трещинам, переход ясный по цвету и плотности
BT	35 – 60	Коричневато-бурый, плотный, легкосуглинистый, ореховато-призматический, с конкрециями марганца и глинистыми кутанами, переход постепенный
BCg	60 – 80	Коричневато-бурый, с сизоватым оттенком, плотный, плитчато-призматический, легкосуглинистый, с конкрециями марганца, переход ясный по цвету
Cg	80 – 100	Палево-бурый, с охристыми пятнами, среднесуглинистый, плотный, плитчатый

Почва: Агродерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая на морене

Разрез 30

Восточная часть Ленинградской области, плоский равнинный участок с посевами овса.

Горизонт	Глубина, см	Описание
Р	0 – 30	Светло-серый, песчаный, пронизан корнями растений, рыхлый, бесструктурный, переход ясный по цвету
BF	30 – 53	Серовато-буроватый, с охристыми пятнами, супесчаный, комковатый, уплотненный, переход ясный по цвету
BF2	53 – 83	Желтый, с охристыми разводами, уплотненный, бесструктурный, песчаный, переход ясный по цвету
С	83 – 105	Белесоватый, песчаный, тонкозернистый, плотный

Почва: Агрозем альфегумусовый иллювиально-железистый песчаный на озерно-ледниковых песках

Разрез 72

Псковская область, Изборский район, волнистая моренная равнина, пашня с посевами озимых зерновых.

Горизонт	Глубина, см	Описание
Р	0 – 27	Темно-серый, комковатый, легкосуглинистый, опесчаненный, с червороинами, уплотненный, переход заметный по цвету
EL	27 – 35	Белесый, с палевым оттенком, супесчаный, плитчатый, уплотненный, переход постепенный
BEL	35 – 52	Пятна белесых, бурых тонов, среднесуглинистый, плитчатый, уплотненный, переход ясный по цвету
BT	52 – 86	Коричневато-бурый с красноватым оттенком, уплотненный, легкосуглинистый, ореховато-призматический, переход заметный по цвету
С	86 – 110	Буровато-красный, среднесуглинистый, опесчаненный, плотный, плитчатый

Почва: Агродерново-подзолистая легкосуглинистая на морене

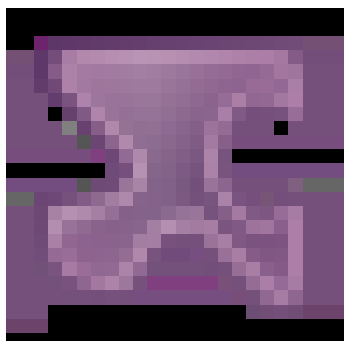
Приложение 2

Карта

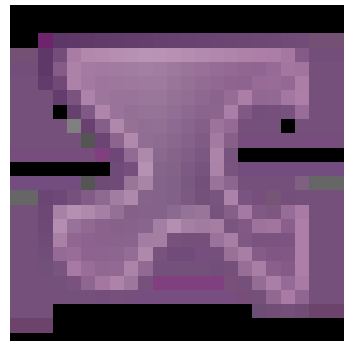


Кривые аккумуляции/выноса макроэлементов в пахотных горизонтах по отношению к почвообразующим породам

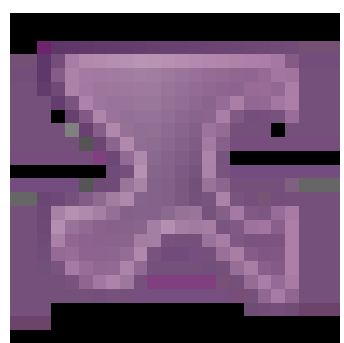
Разрез 4



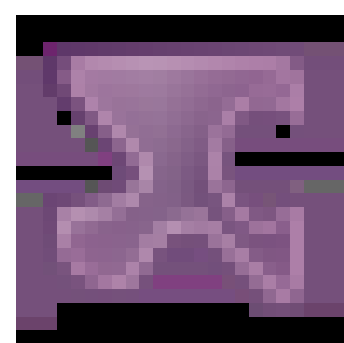
Разрез 5



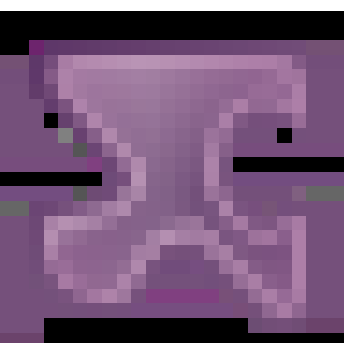
Разрез 10



Разрез 16



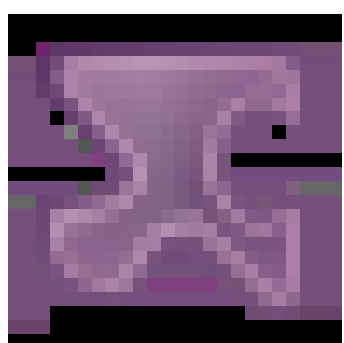
Разрез 18



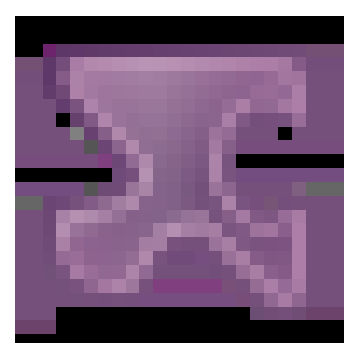
Разрез 25



Разрез 30

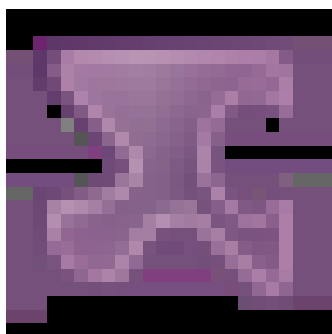


Разрез 72

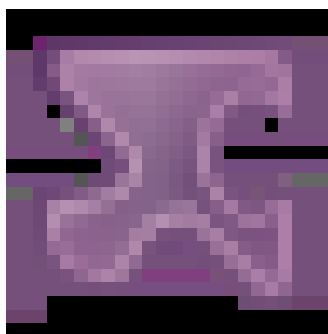


Кривые аккумуляции/выноса микроэлементов в пахотных горизонтах относительно почвообразующих пород

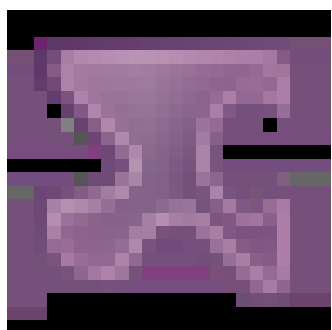
Разрез 4



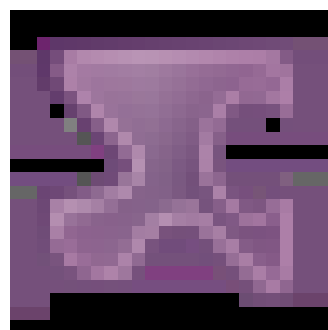
Разрез 5



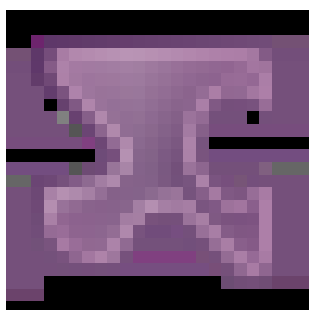
Разрез 10



Разрез 30



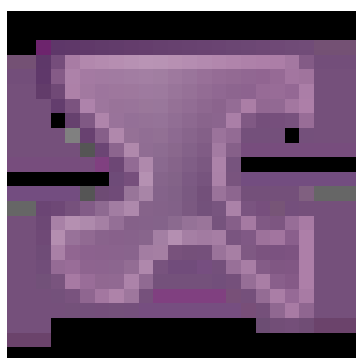
Разрез 16



Разрез 18



Разрез 25



Разрез 72

