

Дзизенко Николай Николаевич

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ВОД И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ  
ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСТОЙНО-  
ПРОМЫВНОГО И ЗАСТОЙНОГО ВОДНОГО РЕЖИМА (МОДЕЛЬНЫЙ  
ЭКСПЕРИМЕНТ)**

06.01.03 – агрофизика

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Работа выполнена на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

**Научный руководитель:**

**Зайдельман Феликс Рувимович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

**Официальные оппоненты:**

**Болатбекова Кира Сулеймановна**, доктор биологических наук, профессор кафедры физической географии и экологии факультета географии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный университет».

**Беличенко Майя Валерьевна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Почвенный институт имени В.В. Докучаева».

Защита состоится «        » \_\_\_\_\_ 2015 года в 15 часов 30 минут в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.002.13 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 12, МГУ имени М. В. Ломоносова, факультет почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Ломоносовский проспект, 27, отдел диссертаций) и на сайте <http://soil.msu.ru/uchenyj-sovet>

Автореферат разослан «        » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Зенова Галина Михайловна

## Общая характеристика работы

**Актуальность работы.** Процесс глееобразования оказывает существенное влияние на формирование свойств почвенного покрова. При наличии легкоферментируемого органического вещества, в местах, где есть условия для переувлажнения и застоя влаги в профиле почв, неспецифическая анаэробная гетеротрофная микрофлора инициирует развитие процесса глееобразования, либо – в сероводородной среде, сульфатредукции.

Процесс глееобразования может реализовываться на фоне двух принципиально различных форм гидрологического режима – застойном и застойно-промывном. Развитие глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима оказывает мощное негативное влияние на почвенный покров. Изменяются физические, физико-химические и химические свойства почв. С падением окислительно-восстановительного потенциала и существенным увеличением кислотности почвенные растворы мобилизуют и выносят из почвенного профиля двух- и трехвалентных металлы. Происходит развитие активного процесса деградации в результате которого почвы снижают или полностью утрачивают свое плодородие. При развитии глееобразования в условиях застойного водного режима существенных негативных изменений свойств почвообразующих пород не происходит.

Изучение глееобразования позволяет понять существенную средообразующую роль почвенных микроорганизмов и их метаболитов при изменении абиотических условий, в частности, водного режима. В анаэробных условиях под влиянием гетеротрофной микрофлоры на фоне застойно-промывного водного режима происходит кардинальное изменение почвы в качестве среды обитания и одного из важнейших компонентов биогеоценоза.

Глееобразование ответственно за возникновение ряда других процессов почвообразования. Например, подзолообразования, формирования солодей, черноземовидных подзолистых почв, подбелов, “рисовых” подзолов и ряда других (Зайдельман, 1998, 2009).

Фундаментальные модельные исследования ряда авторов (Касаткин, 1947; Сюта, 1962; Зайдельман, Нарокова, 1978; Wityn, 1934; Bloomfield, 1951) по изучению процесса глееобразования выполнены на относительно небольшом количестве почвообразующих пород. При этом нельзя переносить результаты трансформации почвообразующих пород под воздействием глееобразования на породы другого генезиса или обладающие иной совокупностью свойств. Динамика и последствия развития глееобразования на многих породах остаются слабоизученными.

**Цель работы.** Изучить влияние глееобразования и сульфатредукции, инициируемых анаэробной гетеротрофной микрофлорой, на условия формирования химического состава лизиметрических вод, изменение химических и физико-химических свойств разных по генезису почвообразующих пород в условиях застойно-промывного и застойного водного режима.

**Задачи исследования.**

1. Изучить развитие морфологических признаков оглеения и сульфатредукции.
2. Проследить динамику изменения окислительно-восстановительного потенциала и рН лизиметрических вод в условиях застойно-промывного водного режима.
3. Оценить изменения химического состава (по мере развития глееобразования) лизиметрических вод.
4. Изучить изменение физико-химических свойств почвообразующих пород в результате глееобразования.
5. Исследовать изменения валового состава почвообразующих пород под воздействием процессов оглеения и сульфатредукции на фоне застойно-промывного и застойного водных режимов

**Научная новизна работы.** Впервые в условиях модельного эксперимента изучено влияние глееобразования и сульфатредукции на фоне застойного и застойно-промывного водного режима на следующие породы: пойменный легкоглинистый аллювий, лессовидную легкую глину, засоленный озерный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий. Получены подробные данные по динамике окислительно-восстановительного потенциала, рН лизиметрических вод, выносу железа и алюминия из почвообразующих пород. Проведены исследования изменения химических и физико-химических свойств твердой фазы почвообразующих пород разного генезиса. Длительность модельного эксперимента составила три года, ранее модельные исследования по влиянию глееобразования на почвообразующие породы за такой продолжительный период времени не проводились.

**Практическая значимость.** Результаты многолетних исследований по изучению влияния глееобразования на почвообразующие породы различного генезиса позволяют определить устойчивость пород к воздействию этого процесса. Данные по изменению физико-химических характеристик почвообразующих пород позволяют прогнозировать изменения этих свойств в почвах похожего генезиса и гранулометрического состава в естественных условиях при изменении гидрологического режима. Исследования динамики развития глееобразования дают представление об изменениях химического

состава лизиметрических вод и позволяют прогнозировать их возможное влияние на смежные элементы ландшафта.

Практическое значение диссертации заключается также в том, что она раскрывает условия, при которых глееобразование может вызывать в гидроморфных почвах негативные деградационные процессы. Работа отражает защитные факторы, которые должны быть использованы для устранения этих опасных явлений (например, оподзоливания в осушаемых и орошаемых почвах лесной, степной и тропической зоны).

Результаты работы могут быть учтены при проектировании мелиоративных систем, связанных с изменением водного режима почв. В частности, данные по изучению динамики выноса железа с лизиметрическими водами из почвообразующих пород на фоне застойно-промывного водного режима могут быть приняты во внимание при устройстве любого вида трубчатого дренажа.

**Апробация работы.** Материалы и основные положения работы были доложены на XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Ломоносов – 2012, а также на Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов и география почв» (к 100-летию М. А. Глазовской).

**Публикации.** По результатам проведенных научных исследований опубликовано 5 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах списка ВАК.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю Ф.Р. Зайдельману за неоценимый вклад и постоянную поддержку в выполнении работы; Е.В. Шеину, А.Б. Умаровой, Т.А. Архангельской за ценные консультации и советы; А.С. Никифоровой, А.П. Шварову, Е.Ю. Милановскому, Т.Н. Початковой, Н.А. Шныреву, С.М. Черкас за важные рекомендации и помощь при проведении физико-химических и химических определений, а также всем сотрудникам кафедры физики и мелиорации почв за посильную помощь и поддержку на всех этапах работы.

## **Содержание работы**

### **Характеристика объектов исследований.**

Модельный эксперимент выполняли с использованием трех контрастных по своим свойствам и генезису тяжелых почвообразующих пород.

1. Речной легкоглинистый аллювий. Пойма р. Москвы. Образец породы бурого цвета. Хорошо оструктурен, имеет слабощелочную реакцию среды, рН 7,59. Не вскипает от HCl. Содержание физической глины – 51%.

2. Лессовидная легкая глина. Владимирское ополье. Образец породы имеет слабокислую реакцию среды, рН 6,30. Не вскипает от HCl. Содержание физической глины – 52%, светло-бурый цвет.

3. Озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий. Барабинская низменность. Образец породы имеет щелочную реакцию среды, рН 8,88. В формировании этих пород активное участие принимают грунтовые хлоридно-сульфатные воды. Повышенное содержание в грунтовых водах сульфатов является причиной возникновения в анаэробной среде процесса сульфатредукции, о чем свидетельствует темная окраска нижних горизонтов профиля. Вскипает от HCl. Содержание физической глины – 41%.

Речной легкоглинистый аллювий и лессовидная легкая глина были использованы для изучения влияния глееобразования на состав лизиметрических вод и свойства почвообразующих пород. В вариантах опыта с озерным засоленным тяжелосуглинистым карбонатным аллювием была исследована трансформация свойств лизиметрических вод и пород в условиях глееобразования и сульфатредукции.

### **Методы исследований**

**Методика постановки модельного эксперимента.** До начала эксперимента крупный образец породы массой более 10 кг был высушен до воздушно-сухого состояния и пропущен через сито с диаметром ячеек 3 мм. Высушенная порода была тщательно перемешана и разделена нанесенной клеткой на мелкие квадраты (7 на 7 см), из которых затем была отобрана множественная проба массой 1700 г. Для каждого варианта почвообразующей породы приготавливали три образца, сопоставимые по своим свойствам (контроль, оглеение в условиях застойного режима и оглеение в условиях застойно-промывного водного режима). Исследуемый образец породы был помещен в пластмассовый прямоугольный сосуд (13,5x13,5x30см) на основание из отмытого соляной кислотой от железа и высушенного кварцевого песка слоем мощностью 3 см. Предварительно на дно сосудов устанавливали фильтры из синтетического материала. В песчаное основание сосудов для вариантов с застойным режимом устанавливали стеклянные трубки для удаления воздуха. Исследуемые образцы заливали дистиллированной водой (контроль) или 1% раствором сахарозы (оглеение на фоне застойно-промывного и застойного водных режимов). Раствор 1% сахарозы предназначен для активизации микрофлоры и создания в исследуемой среде анаэробных условий.

В опыте по изучению глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима использовали сосуды с дренажем на дне для регулярного сброса лизиметрических вод. Сброс лизиметрических вод в вариантах с застойно-промывным режимом

производили один раз в декаду. Затем образец на 3 – 4 суток оставляли на высушивание и вновь заливали 1% раствором сахарозы. При этом непосредственно до сброса лизиметрических вод и перед повторным заливом производили замер окислительно-восстановительного потенциала твердой фазы образца в его поверхностном слое 0 – 3 см.

Варианты опыта с застойным режимом были размещены в сосудах с постоянно закрытыми зажимами. В этом варианте сахарозу в начале опыта вносили с первым затоплением. По мере увеличения окислительно-восстановительного потенциала, вследствие использования сахарозы анаэробной микрофлорой, до величины в 250 – 270 мВ в жидкость над исследуемым образцом вносили небольшое количество сухой сахарозы для поддержания однопроцентной концентрации массой 10 грамм на сосуд, не допуская его подъёма выше 200 – 250 мВ.

В общей сложности было выполнено 60 циклов обводнения пород, сброса лизиметрических вод и аэрации образцов.

В вариантах опыта с застойно-промывным водным режимом лизиметрические воды анализировали подекадно.

**Методы физико-химических и химических определений.** Измерения рН лизиметрических вод и Eh почвообразующих пород производили с помощью прибора рН-410.

Содержание железа в лизиметрических водах определяли с помощью спектрофотокolorиметра КФК-3КМ сульфосалициловым методом.

Для определения алюминия в лизиметрических водах и валовом составе пород применяли комплексонометрический метод определения с дитизоном в качестве индикатора.

Определения основных физико-химических и химических характеристик почвообразующих пород (рН<sub>H2O</sub> и рН<sub>KCl</sub>, гидролитической кислотности, содержание обменных кальция, магния, натрия и калия в некарбонатных незасоленных породах, валового содержания химических элементов) проводили по методикам, представленным в руководствах по химическому анализу почв Е.В. Аринушкиной и Л.А. Воробьевой.

Определение обменных оснований ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) в засоленных породах выполняли по методу Пфедфера в модификации В. А. Молодцова и В. П. Игнатовой.

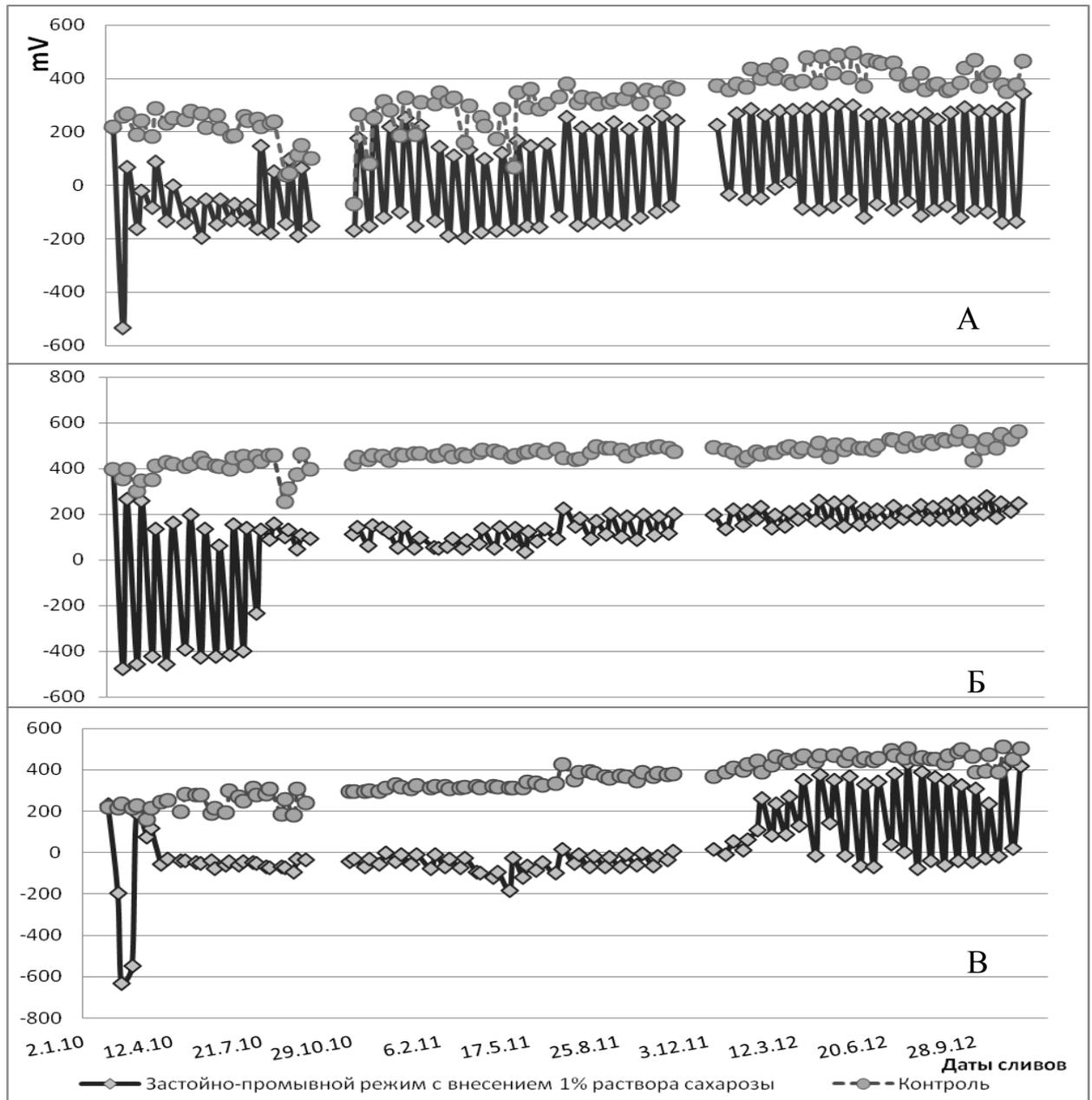
Для изучения валового состава твердой фазы почвообразующих пород применяли методику разложения почв сплавлением с карбонатом калия и натрия.

## Результаты исследований

### 1. Влияние глееобразования и сульфатредукции в условиях застойно-промывного водного режима на жидкую фазу почвообразующих пород.

#### 1.1 Динамика окислительно-восстановительного потенциала.

Во всех образцах почвообразующих пород в условиях застойно-промывного водного режима с добавлением 1% раствора сахарозы происходили закономерные падения значений ОВП в периоды обводнения и подъемы этих значений после сброса



**Рис. 1.** Динамика окислительно-восстановительного потенциала почвообразующих пород в условиях застойно-промывного водного режима в пульсирующих анаэробно-аэробной (опыт) и аэробной (контроль) средах. *А* - речной легкоглинистый аллювий; *Б* - лессовидная легкая глина; *В* - озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий.

лизиметрических вод и аэрации минерального субстрата. Однако в этом случае имели место существенные различия между вариантами эксперимента. В пойменном аллювии пульсация между периодами обводнения и аэрации породы сохранялась на протяжении всего эксперимента, в лессовидной глине – первые пять месяцев эксперимента, в засоленном озерном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии – прекратилась с самого начала эксперимента и проявилась только на его завершающей стадии.

Таким образом, динамика окислительно-восстановительный потенциала почвообразующих пород на фоне застойно-промывного водного режима характеризуется выраженным индивидуальным рисунком на протяжении всего эксперимента (рис. 1). Можно предполагать, что это объясняется различной водопрочностью почвенной структуры и стабильностью агрегатов под влиянием глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима, а также минералогическим составом.

Из общих черт следует отметить, что во всех трех образцах почвообразующих пород с внесением 1%-ого раствора сахарозы наиболее резкое падение ОВП было зафиксировано по истечении первой – второй декады с начала эксперимента.

В вариантах опыта с затоплением образца дистиллированной водой на фоне застойно-промывного водного режима (контроль) значения ОВП во всех породах держались в пределах аэробной зоны.

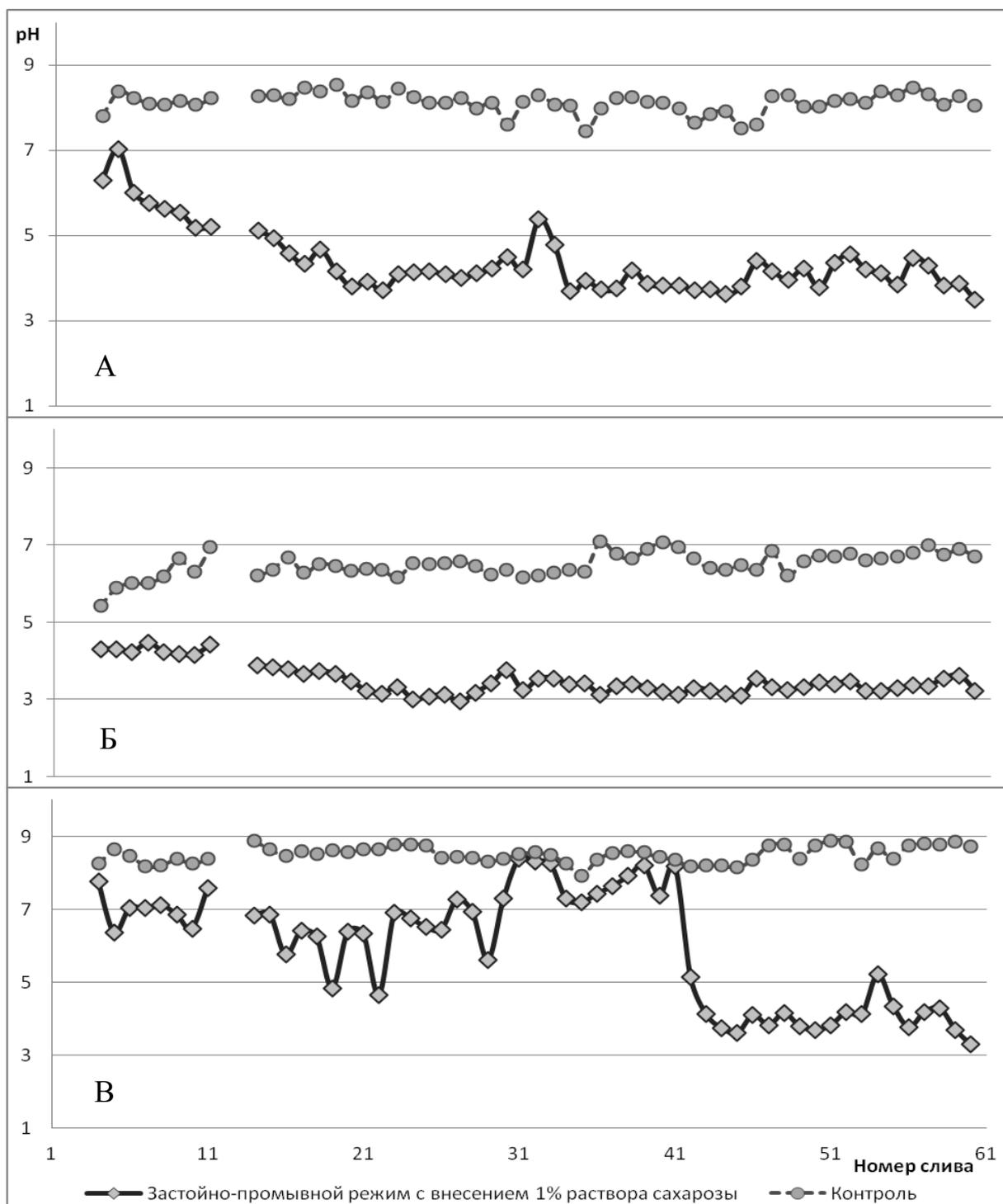
## **1.2 Динамика рН лизиметрических вод.**

Установлено, что добавка органического вещества, способного к анаэробной ферментации (1% раствор сахарозы), вызывает существенное подкисление лизиметрических вод в условиях застойно-промывного водного режима по сравнению с контролем (рис. 2).

Подкисление лизиметрических вод во всех породах со временем усиливалось. В пойменном аллювии и лессовидной глине после первого года наблюдений их значения вышли на плато, которое в первом случае составило  $4 \pm 0,4$ , а во втором –  $3,1 \pm 0,3$  единиц рН.

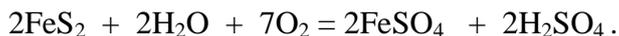
Иначе происходили изменения рН лизиметрических вод из озерного засоленного карбонатного аллювия. Здесь установлено трехэтапное развитие динамики рН лизиметрических вод. В первый год наблюдений в варианте с внесением 1%-ого раствора сахарозы установлено пульсирующее падение значения рН по сравнению с контролем в среднем на 2,5 единицы. В течение второго года значения рН увеличились до 8,4 (что равно контролю). На третьем этапе, после 40-ого слива (рис. 2), произошло резкое увеличение кислотности до рН  $\sim 3,5$ , эти значения сохранились до конца эксперимента.

Трехэтапный характер изменения рН озерного засоленного карбонатного тяжелосуглинистого аллювия, вероятно, объясняется следующими причинами. В первый год наблюдений за изменением рН в результате окисления основной массы сульфидов железа и поступления в почвенный раствор серной кислоты происходит пульсирующее понижение рН (с 6,9 до 4,3 единиц).



**Рис. 2.** Динамика рН лизиметрических вод из пород разного генезиса в условиях застойно-промывного водного режима. *А* - речной легкоглинистый аллювий; *Б* - лёссовидная легкая глина; *В* - озерный засоленный тяжелосуглинистый аллювий.

Этот феномен можно описать следующей реакцией:



Железный купорос, соль слабого основания и сильной кислоты, подвергается активному гидролизу:



В результате в раствор поступают три молекулы серной кислоты, которые ответственны за резкое пульсирующее падение pH в этом варианте опыта на его первом этапе. После того как в озерном засоленном карбонатном аллювии исчерпаны внутренние запасы сульфида железа и прекращается поступление в раствор серной кислоты, происходит подъем pH до значений, свойственных естественным горизонтам профиля почв, благодаря резервам карбонатов кальция и магния. После исчерпания породой запасов карбонатов наблюдается резкое увеличение кислотности лизиметрических вод, свойственное бескарбонатным породам.

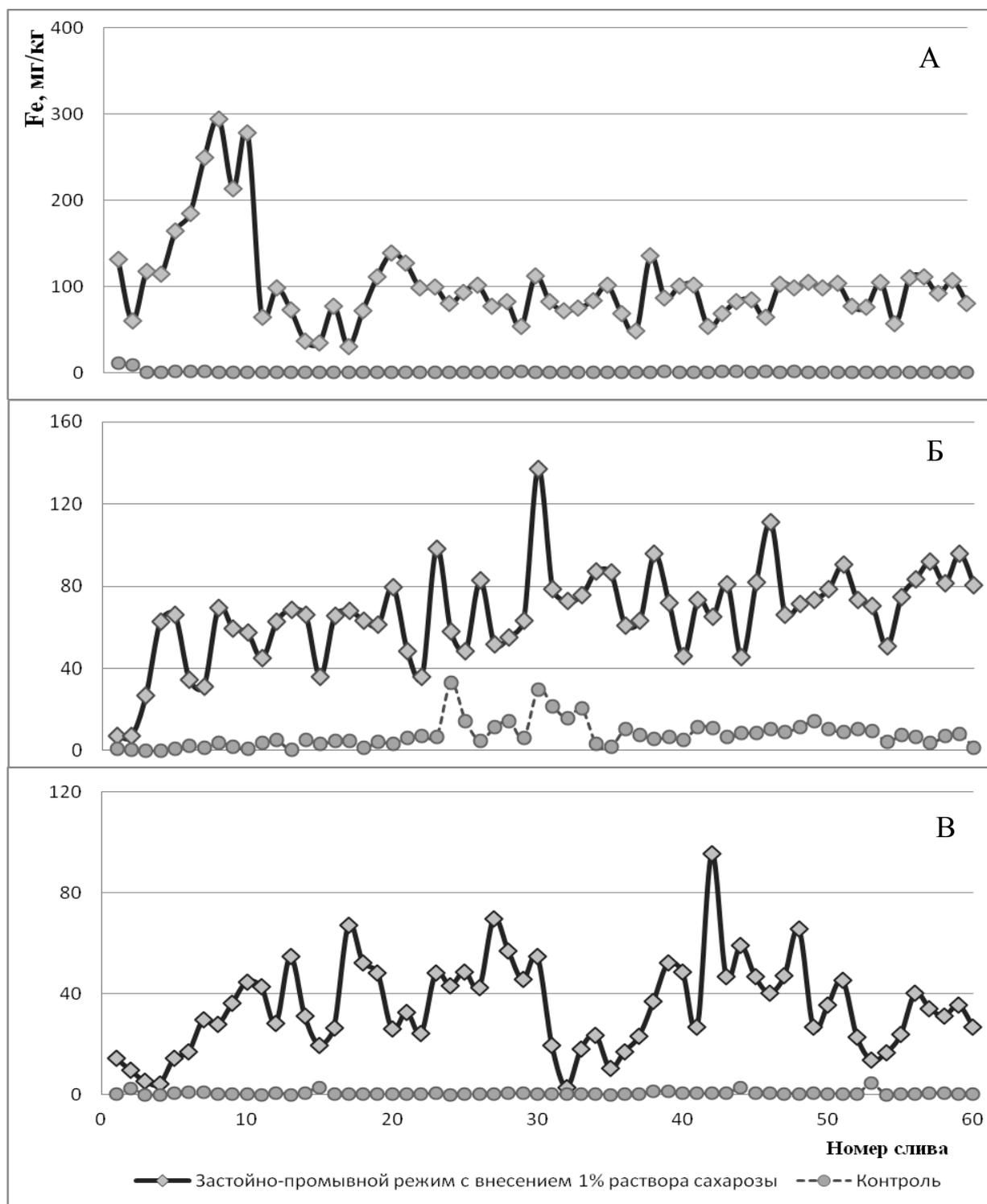
### **1.3 Вынос железа лизиметрическими водами из разных по генезису почвообразующих пород.**

Вынос железа лизиметрическими водами из речного пойменного аллювия характеризуется резким максимумом в левой части графика (до 300 мг из кг породы) и быстрым спадом, после чего кривая выноса железа выходит на плато и несущественно меняет свои значения ( $\sim 90 \pm 50$  мг/кг) на продолжении длительного периода до завершения наблюдений (рис. 3).

Выход железа из лессовидной глины с лизиметрическими водами в варианте с добавлением 1% раствора сахарозы сопровождался массовыми невысокими пиками и составляет от 40 до 140 мг/кг. Основной пик выноса железа находится в средней части кривой. В целом в лессовидной глине общая тенденция хода кривой выноса железа тяготеет к незначительному подъему к концу эксперимента. Отличительной особенностью этого варианта являлось и то, что в этом случае выход железа наблюдался не только в эксперименте, но и на контроле (от 0 до 40 мг/кг). Содержание железа в контроле составляло от 10 до 40 мг/кг, тогда как в эксперименте – от 40 до 140 мг/кг.

Вынос железа из озерного карбонатного аллювия в варианте с внесением 1% раствора сахарозы отличался тем, что этот процесс характеризовался двухвершинной экспериментальной кривой, показывающей 20–100 кратное различие по сравнению с контролем. Такой характер кривых, вероятно, обусловлен тем, что первый подъем концентрации железа обусловлен распадом пирита, а второй возникает после выноса карбонатов из основной толщи исходного карбонатного озерного аллювия.

Соответственно в период, когда резервы сульфида железа исчерпаны, но запасы карбонатов еще присутствуют в породе, наблюдается понижение выноса железа (центральная часть кривой, рис. 3).



**Рис. 3.** Динамика выноса Fe лизиметрическими водами из пород разного генезиса в условиях застойно-промывного водного режима в пульсирующих анаэробно-аэробной (опыт) и аэробной (контроль) средах. *A* - речной легкоглинистый аллювий; *Б* - лёссовидная легкая глина; *В* - озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий.

**Таблица 1.** Суммарный вынос железа лизиметрическими водами из исследуемых почвообразующих пород.

Порода	Суммарный вынос Fe при развитии глееобразования, г	Суммарный вынос Fe из контроля, г	Валовое содержание Fe в исходной породе, %
Пойменный легкоглинистый аллювий	10,37	0,09	3,5
Лессовидная легкая глина	6,64	0,82	2,8
Засоленный озерный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий	3,58	0,06	1,5

Наибольший суммарный вынос железа лизиметрическими водами наблюдается из пойменного аллювия, затем следуют лессовидная глина и засоленный озерный аллювий (табл. 1). Вероятно, это объясняется соответствующими различиями в валовом содержании железа в исходных породах.

#### **1.4 Вынос алюминия лизиметрическими водами из разных по генезису почвообразующих пород.**

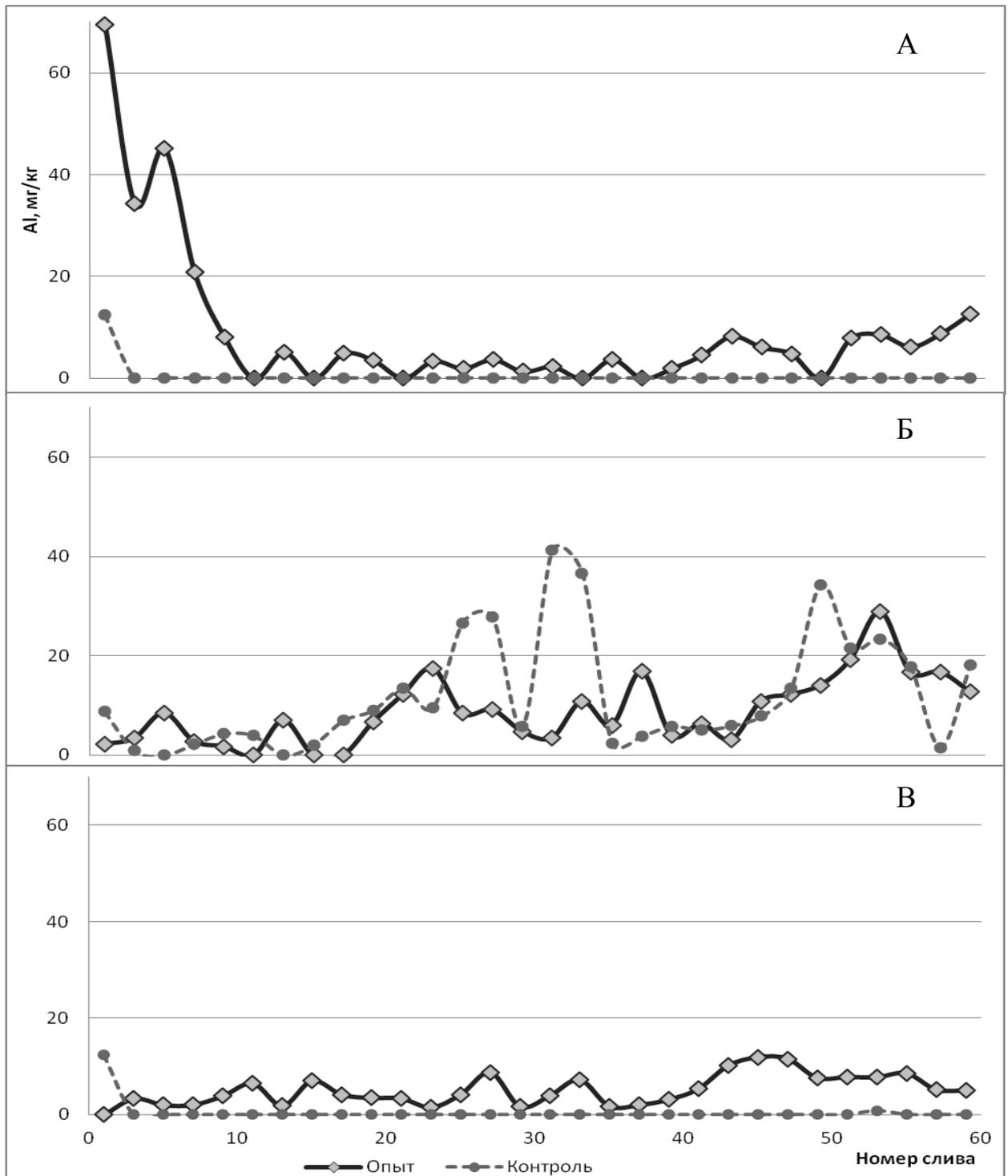
Алюминий в исследуемых почвообразующих породах на фоне глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима проявляет значительно меньшую миграционную способность по сравнению с железом.

Наибольший вынос алюминия (до 70 мг/кг) наблюдается из речного аллювия в первые полгода эксперимента (рис. 4). После чего его вынос не превышает 5мг/кг и увеличивается лишь на завершающей стадии опыта (до 13 мг/кг).

В лессовидной глине и озерном засоленном аллювии пиков выноса алюминия на первых этапах эксперимента не было обнаружено, но здесь также существует тенденция к увеличению выноса алюминия к концу опыта.

Значительный вынос алюминия (до 40 мг/кг породы) наблюдается в контрольном варианте лессовидной глине при отсутствии анаэробногиза и глееобразования. Появление такого пика выноса алюминия в контрольном варианте, вероятно, обусловлено минералогическими свойствами лессовидной глины и длительным пребыванием в условиях застойно-промывного водного режима. Ранее, в модельных опытах по изучению разложения минералов под влиянием воды была обнаружена тенденция к увеличению содержания  $Al_2O_3$  в растворах со временем (Матвеева и др., 1975). Интенсивность

растворения  $Al_2O_3$  в бóльшей степени зависит от кристаллической структуры и химического состава минералов (Зонн, 1992).



**Рис. 4.** Динамика выноса Al лизиметрическими водами из пород разного генезиса в условиях застойно-промывного водного режима в пульсирующих анаэробно-аэробной (опыт) и аэробной (контроль) средах. *А* - речной легкоглинистый аллювий; *Б* - лёссовидная легкая глина; *В* - озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий.

## **2. Влияние глееобразование и сульфатредукции в условиях застойно-промывного и застойного водных режимов на изменение твердой фазы почвообразующих пород.**

### **2.1 Изменение морфологии пород под влиянием глееобразования и сульфатредукции в условиях застойного и застойно-промывного водных режимов.**

Морфохроматические признаки оглеения и сульфатредукции (в засоленном озерном аллювии) четко проявились во всех почвообразующих породах уже в первые полгода проведения эксперимента. При этом в бескарбонатных породах эти признаки проявились значительно раньше и были выражены более интенсивно.

В пойменном аллювии в условиях застойного и застойно-промывного водного режима с внесением 1% раствора сахарозы общее осветление породы в результате ее обезжелезнения стали заметны по истечению 1,5 месяцев после начала эксперимента. После 15-месячной экспозиции в анаэробной среде пойменный аллювий в условиях застойного режима приобрел равномерную темно-сизую окраску вместо естественной темно-бурой. В варианте с внесением сахарозы на фоне застойно-промывного водного режима было установлено разделение образца на два слоя по интенсивности проявления светло-сизой окраски мощностью по 4 см каждый.

В лёссовидной глине в условиях застойного и застойно-промывного водного режима отчетливые морфохроматические признаки глееобразования появились через 2 месяца после запуска эксперимента. В варианте с застойным водным режимом они покрывали поверхностный слой образца лёссовидной глины мощностью около 3 см на 70%. В варианте с внесением сахарозы при застойно-промывном водном режиме оглеение лёссовидной глины проявилось в виде отдельных белесовато-серых пятен в поверхностном слое мощностью 2 – 3 см на фоне исходной естественной светло-бурой окраски; через 15 месяцев после начала эксперимента в поверхностном слое образца на месте отдельных пятен оглеения сформировался сплошной лентообразный слой осветленного мелкозема мощностью 1,5-2,0 см и множество мелких пятен оглеения во всей толще колонки лёссовидной глины.

В засоленном карбонатном озерном аллювии с внесением 1% раствора сахарозы в условиях застойно-промывного и застойного водных режимов изменения морфохроматических особенностей преимущественно были связаны с развитием процесса сульфатредукции. Так, в варианте с застойным водным режимом через полтора месяца после начала эксперимента поверхностный слой приобрел интенсивный черный цвет. Темноокрашенный материал, приуроченный к поверхностному слою породы, был, вероятно, образован сульфидом железа (пиритом,  $\text{FeS}_2$ ) и гидротроилитом  $\text{Fe}(\text{HS})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , черным мажущимся минералом коллоидальной консистенции. Через 15 месяцев после

начала эксперимента темноокрашенная площадь превышала половину внешней поверхности образца.

Процесс сульфатредукции в варианте с внесением сахарозы на фоне застойно-промывного водного режима проявляется менее интенсивно, чем в условиях застойного режима, из-за систематического сброса лизиметрических вод, периодической аэрации образца и окисления сульфида железа в эти периоды.

Следует подчеркнуть, что морфохроматические признаки всех контрольных вариантов, затопленных дистиллированной водой в условиях застойно-промывного водного режима, после 3-х летнего обводнения практически не изменились по сравнению с исходными образцами по цвету, текстуре и другим визуальным признакам.

**2.2 Изменение кислотно-основных свойств почвообразующих пород.** Глееобразование оказывает существенное влияние на физико-химические свойства минеральной массы пород в зависимости от характера водного режима. Наиболее глубокие изменения происходят в бескарбонатных отложениях кислых минеральных субстратов.

В условиях застойно-промывного режима в поверхностных слоях речного аллювия актуальная кислотность снизилась почти на 3 единицы рН, с 7.59 до 4.6, в верхнем слое 0–3 мм. В застойном режиме снижение рН не превышало в этом слое 0.7 единицы рН. В контроле (вариант без внесения сахарозы, т.е. без оглеения) – менее 0.25 единицы рН на протяжении 3-х лет (табл. 2).

Как в лессовидной глине, так и в озерном засоленном аллювии резкое изменение рН имело место только в условиях застойно-промывного водного режима с внесением 1% раствора сахарозы. В лессовидной глине рН упал с 6.30, в исходной породе, до 4.26, 4.17 и 4.37, т.е. на 2.04, 2.13 и 1.93 единицы рН (по слоям соответственно). В озерном засоленном карбонатном аллювии наиболее существенное подкисление мелкозема было обнаружено в относительно тонком 3мм верхнем слое образца – в исходной породе рН 8.88, в слое опытного образца 0 – 3 мм – 4.70; различие составляет 4.18 единицы рН. Однако в следующем слое 3 – 30 мм значение рН в опыте – 6.33, в породе – 8.88; различие – 2.55 единицы рН. В последнем слое значения рН опытного образца – 8.86, т.е. практически равны рН породы – 8.88. В застойном варианте и в контроле, как в лессовидной глине, так и в засоленном озерном аллювии заметные изменения рН по сравнению с исходной породой не установлены.

Аналогично рН<sub>H2O</sub> изменяются и значения рН<sub>KCl</sub> под влиянием глееобразования и сульфатредукции в условиях застойно-промывного и застойного водных режимов (табл. 2).

**Таблица 2.** Влияние глееобразования в условиях застойного и застойно-промывного водных режимов на разных породах на изменение их актуальной и обменной кислотности. Продолжительность эксперимента – 3 года

Порода	Тип водного режима	Глубина, мм	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	
<b>Речной легкоглинистый аллювий</b>	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 – 3	4.61	3.07	
		3 - 30	4.53	3.13	
		30 - 40	4.86	3.30	
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 – 3	6.89	6.11	
		3 - 30	6.54	5.58	
		30 - 40	6.85	5.73	
	Застойно-промывной, контроль	0 – 3	7.09	6.55	
		3 - 30	7.34	6.19	
		30 - 40	7.20	6.55	
	Исходная порода		7.59	6.91	
	<b>Лессовидная легкая глина</b>	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 – 3	4.26	3.33
			3 - 30	4.17	3.63
30 - 40			4.37	3.38	
Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы		0 – 3	6.55	5.45	
		3 - 30	6.22	5.05	
		30 - 40	6.19	4.66	
Застойно-промывной, контроль		0 – 3	6.21	4.49	
		3 - 30	6.27	5.12	
		30 - 40	6.61	4.51	
Исходная порода			6.30	4.58	
<b>Озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий</b>		Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 – 3	4.70	3.46
			3 - 30	6.33	4.61
	30 - 40		8.22	8.35	
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 – 3	8.48	8.22	
		3 - 30	8.78	8.25	
		30 - 40	8.92	8.72	
	Застойно-промывной, контроль	0 – 3	8.72	8.24	
		3 - 30	8.82	7.88	
		30 - 40	8.86	8.15	
	Исходная порода		8.88	8.21	

**Таблица 3.** Влияние глееобразования в условиях застойного и застойно-промывного водного режима на изменение гидролитической кислотности, подвижных алюминия и водорода почвообразующих пород

Порода	Тип водного режима	Глубина, мм	Гидролитическая кислотность	Подвижный Al <sup>3+</sup> по Соколову	Подвижный Н <sup>+</sup> по Соколову
			ммоль (+)/100г почвы		
<b>Речной легкоглинистый аллювий</b>	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3		7,82	0,18
		3 – 30	10,05	4,08	0,17
		30 – 40	5,14	3,33	0,42
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3		0,25	0,01
		3 – 30	2,46	0,05	0,01
		30 – 40	2,02	0,03	0,06
	Застойно-промывной, контроль	0 - 3		0,25	0,01
		3 – 30	1,56	0,02	0,03
		30 – 40	1,67	0,01	0,03
	Исходная порода		0,68	0,00	0,08
<b>Лессовидная легкая глина</b>	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3		4,79	1,46
		3 – 30	14,50	6,00	1,33
		30 – 40	10,50	7,56	2,15
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3		0,25	0,02
		3 – 30	1,86	0,05	0,01
		30 – 40	3,40	0,09	0,01
	Застойно-промывной, контроль	0 - 3		0,26	0,01
		3 – 30	1,43	0,07	0,01
		30 – 40	1,99	0,07	0,01
	Исходная порода		3,05	0,12	0,01
<b>Озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий</b>	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3		1,72	0,03
		3 – 30	2,07	0,24	0,01
		30 – 40	0,30	0,05	0,01
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3		0,25	0,01
		3 – 30	<0,23	0,01	0,07
		30 – 40	<0,23	0,01	0,03
	Застойно-промывной, контроль	0 - 3		0,01	0,25
		3 – 30	<0,23	0,01	0,07
		30 – 40	<0,23	0,01	0,06
	Исходная порода		<0,23	0,06	0,01

### 2.3 Изменение состава обменных катионов почвообразующих пород.

Глееобразование оказывает заметное влияние на формирование гидролитической кислотности (табл. 3). В условиях моделирования было установлено, что наиболее отчетливо этот процесс происходит в условиях застойно-промывного водного режима с внесением 1% раствора сахарозы в бескарбонатных породах. Наиболее существенные изменения этого параметра по сравнению с исходной породой обнаружены в слое 3 – 30мм глинистого речного аллювия и лессовидной легкой глине. В вариантах застойного и застойно-промывного режима без внесения сахарозы (контроль) изменения гидролитической кислотности были незначительными или не проявлялись вообще.

Озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий, кроме верхнего горизонта в варианте застойно-промывного режима, имеет те же весьма незначительные величины этого показателя, что и на контроле, т.е. менее 0.3 ммоль(+)/100 г почвы.

Существенное увеличение концентраций подвижных  $Al^{3+}$  и  $H^+$  по Соколову обнаружены в бескарбонатных породах в варианте с внесением сахарозы на фоне застойно-промывного водного режима; в озерном карбонатном аллювии заметное повышение концентрации подвижного  $Al^{3+}$  было выявлено лишь в тонком слое образца 0 – 3мм. В условиях застойного режима и в контрольном варианте заметного изменения содержания подвижных  $Al^{3+}$  и  $H^+$  по Соколову не обнаружено (табл. 3).

Глееобразование оказывает существенное влияние на состав поглощенных оснований в зависимости от типа водного режима. В бескарбонатных породах (речном глинистом аллювии и лессовидной глине) максимальный вынос обменных кальция и магния происходит на фоне глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима. Так, в речном глинистом аллювии в исходном состоянии содержание кальция и магния было равно соответственно 51.2 и 17.4 ммоль (+)/100 г. После трех лет систематической промывки в условиях застойно-промывного водного режима эти величины в слоях 0 – 3; 3 – 30 и 30 – 40мм составили соответственно по кальцию 10.6 – 16.4 – 22.0 ммоль (+)/100 г почвы. По магнию в тех же слоях исследуемого образца – 2.6 – 7.6 – 6.4 ммоль (+)/100 г почвы. В варианте застойного водного режима с внесением 1% раствора сахарозы содержание кальция и магния в почве оказались существенно большими и составили в конце опыта соответственно по кальцию – 44.2, 42.8, 38.8 ммоль (+)/100г почвы; по магнию – 12.0 – 8.0 – 11.8 ммоль (+)/100г почвы (табл. 4).

В засоленном озерном карбонатном аллювии в варианте с внесением раствора сахарозы на фоне застойно-промывного водного режима существенно снизилось содержание обменного  $Mg^{2+}$ . При этом содержание обменного  $Ca^{2+}$  возросло во всех вариантах опыта с засоленным озерным аллювием по сравнению с исходной породой.

Содержание обменного  $\text{Na}^+$  в вариантах опыта с застойно-промывным водным режимом (независимо от внесения сахарозы) к концу опыта снизилось до нуля.

Содержание обменного  $\text{K}^+$  в исследуемых почвообразующих породах существенно не изменилось во всех вариантах опыта.

**Таблица 4.** Влияние глееобразования в условиях застойного и застойно-промывного водного режима на поглощенные основания в речном аллювии, лессовидной глине и озерном карбонатном засоленном аллювии.

Порода	Тип водного режима	Глубина, мм	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	Степень насыщенности основаниями, %
			ммоль (+)/100г почвы				
Речной легкоглинистый аллювий	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3	10,6	2,6	0,00	-	-
		3 - 30	16,4	7,6	0,00	0,27	70,71
		30 - 40	22,0	6,4	0,00	0,25	84,79
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3	44,4	12,0	0,00	0,17	-
		3 - 30	42,8	8,8	0,00	0,15	95,46
		30 - 40	38,8	11,8	0,00	0,15	96,17
	Застойно-промывной, контроль	0 - 3	48,4	13,2	0,00	0,16	-
		3 - 30	50,8	10,8	0,00	0,16	97,54
		30 - 40	51,6	11,2	0,00	0,14	97,42
	Исходная порода		51,2	17,4	0,00	0,14	98,93
Лессовидная легкая глина	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3	5,8	4,6	0,00	0,91	-
		3 - 30	5,0	5,0	0,00	0,83	42,73
		30 - 40	6,0	4,8	0,00	0,70	52,23
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3	21,1	8,0	0,00	0,70	-
		3 - 30	25,9	8,8	0,00	0,87	95,03
		30 - 40	22,0	8,0	0,00	0,73	90,04
	Застойно-промывной, контроль	0 - 3	25,8	3,2	0,00	0,92	-
		3 - 30	23,9	6,0	0,00	0,85	95,55
		30 - 40	29,9	3,2	0,00	0,81	94,45
	Исходная порода		25,0	9,9	0,00	0,81	92,15
Озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий	Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3	7,0	3,0	0,01	0,38	-
		3 - 30	13,4	2,8	0,1	0,33	88,93
		30 - 40	17,8	2,4	0,00	0,27	98,56
	Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 3	8,2	14,4	0,61	0,22	-
		3 - 30	10,0	11,2	0,54	0,22	99,10
		30 - 40	11,0	11,8	0,48	0,21	99,16
	Застойно-промывной, контроль	0 - 3	15,6	8,6	0,01	0,25	-
		3 - 30	15,6	9,0	0,01	0,28	99,20
		30 - 40	14,0	10,0	0,06	0,23	99,18
	Исходная порода		8,6	11,8	1,04	0,30	99,09

## 2.4 Изменение валового химического состава почвообразующих пород

Исследования элементного состава почвообразующих пород показали его существенную трансформацию под влиянием глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима. Наиболее радикальные изменения произошли в некарбонатных незасоленных породах. Под влиянием глееобразования в условиях застойного водного режима изменение элементного состава почвообразующих пород проявляется весьма незначительно или не происходит вообще. При промывке породы дистиллированной водой существенных изменений процентного содержания элементов не установлено.

В образце речного легкоглинистого аллювия, находившемся под влиянием глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима, валовое содержание оксида железа (III) в конце 3-ого года в слое 0 – 0.3 см составило 6.4%; в слое 0.3 – 3 см – 9.3% и 12.1% в нижнем слое 3 – 4 см. В исходной породе валовое содержание  $Fe_2O_3$  равно 11,2% (табл. 5).

Аналогичные изменения обнаружены в валовом содержании марганца. В этом случае также наблюдается уменьшение доли марганца в элементном составе породы и образование вертикального градиента распределения по профилю образца. Содержание  $MnO$  в верхнем слое 0 – 0.3 см составило 0.02%; в слое 0.3 – 3 см – 0.05% и 0.08 % в нижнем слое 3 – 4 см, в то время как в исходной породе – 0.18%.

Результаты анализа химического состава показали изменение относительного количества щелочноземельных металлов и серы. Так, валовое содержание кальция составило 1.25%, 1.9%, 1.7% по слоям соответственно, в то время как в исходной породе – 2.55%. Содержание магния по слоям ~ 0.95%, 0.85% и 1.15%; в исходной породе – 1.15%. Доля  $SO_3$  в элементном составе опытного образца составила в среднем 0,20%, в то время как в исходной породе – 0.35%.

Принципиально иная ситуация обнаружена в содержании и распределении кремния в колонке породы. Выявлено накопление кремния относительно исходной почвообразующей породы. Содержание  $SiO_2$  в горизонте 0 – 0.3 см равно 74.1%, в слое 0.3 – 3 см – 73.9% и 71.7 в нижнем слое 3 – 4 см; содержание в исходной породе – 70.9%.

Валовое содержание  $Al_2O_3$  и  $TiO_2$  в целом осталось на уровне исходной породы.

**Таблица 5.** Валовой состав речного легкоглинистого аллювия (в % на прокаленную навеску)

Тип водного режима	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
1.1 Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 0,3	74,13	6,43	13,22	1,25	0,95	0,02	0,79	0,20
	0,3 - 3	73,78	9,29	13,49	1,90	0,86	0,05	0,96	0,19
	3 - 4	71,68	12,06	12,88	1,69	1,17	0,08	0,88	0,22
1.2 Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 0,3	72,60	10,84	13,44	2,16	1,42	0,14	0,99	0,31
	0,3 - 3	70,90	11,43	13,19	2,21	1,09	0,14	0,88	0,34
	3 - 4	71,89	11,39	13,26	2,64	0,88	0,14	0,79	0,32
1.3 Застойно-промывной, контроль	0 - 0,3	71,97	10,95	13,36	2,42	1,16	0,18	0,96	0,37
	0,3 - 3	71,09	11,60	12,96	2,02	1,27	0,17	0,91	0,37
	3 - 4	68,57	11,33	13,15	2,60	1,23	0,19	0,84	0,35
Исходная порода		70,92	11,17	12,96	2,56	1,14	0,18	0,84	0,35

В лессовидной глине в результате воздействия глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима выявлены аналогичные с речным аллювием изменения элементного состава пород. Доля SiO<sub>2</sub> в валовом составе увеличилась в среднем на 3.2%. Содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в породе составило 6.2%, 7,35%, 9,35% по слоям соответственно (табл. 6); в исходной породе – 8.75%. Здесь также проявилась вертикальная дифференциация по доле Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в валовом составе породы. Верхние слои образца подверглись обезжелезнению, в то время как в нижнем слое произошло некоторое накопление Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Содержание MnO в опытном образце составило 0.02%, 0.02%, и 0.03% по слоям соответственно. В исходной породе доля MnO от элементного состава равна 0.06%.

Содержание CaO в опытном образце ~ 1.5%; в исходной породе – 1.95%. Доля MgO в экспериментальном образце ~ 1.05%; в исходной породе – 1.1%.

Заметно снизилась доля серы в валовом составе породы. В опытном образце содержание SO<sub>3</sub> в среднем равно 0.12%; в исходной породе – 0,20%.

**Таблица 6.** Валовой состав лессовидной легкой глины Владимирского ополья (в % на прокаленную навеску)

Тип водного режима	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 0,3	74,37	6,22	13,41	1,48	1,03	0,02	0,82	0,12
	0,3 - 3	74,06	7,36	13,52	1,35	1,07	0,02	0,80	0,11
	3 - 4	74,74	9,36	14,37	1,64	1,02	0,03	0,82	0,13
Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 0,3	73,14	8,66	13,25	1,97	1,29	0,07	0,86	0,22
	0,3 - 3	72,42	9,94	13,35	1,72	1,24	0,04	0,84	0,20
	3 - 4	72,00	9,68	13,35	2,10	1,11	0,03	0,90	0,20
Застойно-промывной, контроль	0 - 0,3	72,58	8,69	12,90	1,84	1,26	0,07	0,92	0,18
	0,3 - 3	71,99	9,05	13,31	1,71	1,24	0,06	0,80	0,22
	3 - 4	72,06	9,10	13,65	2,10	1,11	0,08	0,90	0,21
Исходная порода		71,18	8,74	13,25	1,97	1,11	0,06	0,86	0,20

Какого-либо значимого уменьшения доли TiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в валовом составе опытного образца обнаружено не было

В озерном засоленном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии наблюдаются менее интенсивные изменения валового состава, чем в бескарбонатных незасоленных породах. Наиболее существенным отличием в трансформации элементного состава по сравнению с бескарбонатными породами является сохранение относительного содержания Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на исходном уровне. Доля Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в опытном образце составляет ~ 5,1%; в исходной породе – 5.0% (табл. 7).

Тем не менее, валовое содержание MnO уменьшается аналогично бескарбонатным породам. Доля оксида марганца (II) в опытном образце составляет 0.03%, 0.03% и 0.05% по слоям соответственно; в исходной породе – 0.07%. Также присутствует некоторое накопление SiO<sub>2</sub>. Его относительное содержание в опытном образце ~ 74.5%; в исходной породе – 72.9%.

В озерном засоленном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии наблюдается значительное уменьшение доли щелочноземельных металлов в элементном составе. Так, процентное содержание CaO в опытном образце составляет соответственно по слоям 1.95%, 2.8% и 4.45%; в исходной породе

**Таблица 7.** Валовой состав озерного засоленного тяжелосуглинистого карбонатного аллювия (в % на прокаленную навеску)

Тип водного режима	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Застойно-промывной с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 0,3	74,36	5,27	12,31	1,96	0,63	0,03	0,64	1,35
	0,3 - 3	74,34	4,78	11,74	2,81	0,47	0,03	0,51	1,52
	3 - 4	74,61	5,30	11,95	4,47	1,10	0,05	0,48	2,21
Застойный с внесением 1%-ого раствора сахарозы	0 - 0,3	71,98	5,06	11,34	4,66	1,56	0,06	0,59	2,95
	0,3 - 3	71,59	5,84	11,54	4,61	1,29	0,02	0,70	2,84
	3 - 4	72,37	5,20	11,54	4,70	1,28	0,04	0,58	2,75
Застойно-промывной, контроль	0 - 0,3	71,98	5,59	11,87	5,38	1,02	0,07	0,51	2,67
	0,3 - 3	72,25	5,98	11,28	5,29	1,12	0,05	0,55	2,64
	3 - 4	72,45	5,71	11,87	5,15	1,39	0,06	0,57	2,79
Исходная порода		72,92	5,02	11,22	5,20	1,19	0,07	0,58	2,74

– 5.2%. Доля MgO в экспериментальном образце породы равна 0.65%, 0.45%, 1.1% по слоям соответственно; в исходной породе – 1.2%. Следует отметить, что здесь наблюдается отчетливая дифференциация профиля по относительному содержанию щелочноземельных металлов.

Также существенно изменилась доля SO<sub>3</sub> в валовом составе с образованием градиентного распределения по профилю. В опытном образце процентное содержание SO<sub>3</sub> составило соответственно по слоям 1.35%, 1.52% и 2.21%; в исходной породе – 2.74%.

В целом относительное содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub> после длительного воздействия глееобразования и сульфатредукции на породу существенно не изменилось.

Необходимо отметить, что под воздействием глееобразования и сульфатредукции на фоне застойного водного режима, а также при промывке образцов дистиллированной водой без добавления органического вещества существенных систематических изменений валового состава относительно исходной породы не обнаружено.

## ВЫВОДЫ

1. В условиях модельного эксперимента отчетливые морфохроматические признаки оглеения и сульфатредукции проявляются уже через 4 – 6 недель после первого обводнения пород с внесением 1% раствора сахарозы, как в условиях застойно-промывного, так и застойного водного режима. Через 4 – 6 месяцев эти признаки (голубовато-сизая окраска при оглеении и черная или темно-серая при сульфатредукции) проявляются во всей исследуемой толще почвообразующей породы. Таким образом, развитие глееобразования и сульфатредукции на исследуемых породах можно качественно обнаружить по изменению их морфологии после непродолжительного развития этих процессов в толще породы.

2. Окислительно-восстановительный режим трех исследованных почвообразующих пород (речного легкоглинистого аллювия, лессовидной легкой глины и озерного засоленного тяжелосуглинистого карбонатного аллювия) характеризуется четко выраженным индивидуальным рисунком на протяжении всего эксперимента.

3. В бескарбонатных породах (речном легкоглинистом аллювии и лессовидной легкой глине) глееобразование в условиях застойно-промывного режима при наличии способного к ферментации органического вещества сопровождается прогрессирующим подкислением лизиметрических вод (до 3-4 единиц рН по сравнению с контролем).

В условиях сульфатредукции на фоне застойно-промывного водного режима изменения рН лизиметрических вод засоленной карбонатной породы носят трехэтапный характер. На первом этапе в результате окисления сульфида железа и образования серной кислоты происходит подкисление лизиметрических вод. После завершения этого этапа и прекращения поступления серной кислоты наблюдается подъем значений рН до уровня контроля. Это изменение обусловлено значительными естественными резервами карбонатов в озерном засоленном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии. После выноса основной массы карбонатов из толщи породы происходит резкое увеличение кислотности до значений рН, свойственных бескарбонатным породам в условиях опыта.

4. Глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима вызывает интенсивный вынос железа из почвообразующих пород с лизиметрическими водами. Интенсивность выноса железа уменьшается в ряду: речной легкоглинистый аллювий > лессовидная легкая глина > озерный засоленный тяжелосуглинистый карбонатный аллювий.

5. В условиях интенсивного оглеения лизиметрические воды, проходя через толщу всех исследуемых в работе пород (речного легкоглинистого аллювия, лессовидной легкой глины, озерного засоленного тяжелосуглинистого карбонатного аллювия),

обогащаются двухвалентным железом в концентрациях опасных для работы любого вида трубчатого дренажа.

6. В условиях застойно-промывного водного режима с внесением 1% раствора сахарозы установлен вынос алюминия из всех почвообразующих пород. При этом существует тенденция (не учитывая пик выноса Al в начале эксперимента из пойменного аллювия) увеличения его содержания в растворе к концу эксперимента.

7. Глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима вызывает кардинальное изменение кислотно-основных свойств и состава обменных катионов бескарбонатных почвообразующих пород. Происходит резкое увеличение актуальной и обменной кислотности, снижение степени насыщенности основаниями, значительное повышение подвижных  $Al^{3+}$  и  $H^+$ , гидролитической кислотности. В озерном засоленном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии эти изменения выражены в гораздо меньшей степени (в основном в поверхностном слое образца) или не проявляются вообще.

8. Глееобразование в условиях застойного режима вызывает незначительные изменения исходных химических и физико-химических свойств почвообразующих пород.

9. Глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима вызывает существенную трансформацию валового химического состава почвообразующих пород. Во всех породах установлена заметная относительная аккумуляция  $SiO_2$  в элементном составе на фоне уменьшения процентного содержания  $MnO$ ,  $SO_3$ ,  $CaO$  и  $MgO$ . В незасоленных бескарбонатных породах установлено резкое снижение количества  $Fe_2O_3$  в валовом составе. В озерном засоленном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии относительное содержание  $Fe_2O_3$  в валовом составе в целом осталось на уровне исходной породы. Существенных систематических изменений валового содержания  $TiO_2$  и  $Al_2O_3$  в породах обнаружено не было.

10. В незасоленных бескарбонатных породах установлена выраженная элювиально-иллювиальная дифференциация толщи образцов по содержанию  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  и  $MnO$ . При этом в озерном засоленном тяжелосуглинистом карбонатном аллювии элювиально-иллювиальное распределение обнаружено для  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$  и  $MnO$ .

11. В результате развития глееобразования на кислых и нейтральных породах в условиях застойно-промывного режима образуются кислые, обедненные обменными основаниями субстраты с пониженным содержанием железа, марганца, кальция и других элементов на фоне относительной аккумуляции кремнезема в валовом химическом составе аналогичные по своим показателям кислым элювиальными горизонтами подзолистых почв.

### Работы, опубликованные по теме диссертации

1. Дзизенко Н. Н. Влияние оглеения почвообразующих пород в условиях застойного и застойно-промывного водных режимов на их рН, Eh и вынос железа // XIX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых Ломоносов – 2012. Секция «Почвоведение» М., 2012. С. 43–44.
2. Зайдельман Ф. Р., Черкас С. М., Дзизенко Н. Н. Роль глееобразования и сульфатредукции в формировании свойств лизиметрических вод (модельный эксперимент) // Доклады Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов и география почв» (к 100-летию М. А. Глазовской). М., 2012. С. 129–131.
3. Зайдельман Ф. Р., Черкас С. М., Дзизенко Н. Н. Глееобразование и сульфатредукция как факторы, определяющие состав лизиметрических вод из разных почвообразующих пород (модельный эксперимент) // Вестник Московского университета. 2013. Серия 17. Почвоведение. №1. С. 3–12.
4. Зайдельман Ф. Р., Дзизенко Н. Н., Черкас С. М. Влияние глееобразования и сульфатредукции на разных породах на свойства лизиметрических вод (модельный эксперимент) // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1073–1083.
5. Зайдельман Ф. Р., Дзизенко Н. Н., Черкас С. М. Влияние глееобразования на химический состав лизиметрических вод и физико-химические свойства почвообразующих пород (модельный эксперимент) // Почвоведение. 2014. № 12. С. 1404-1415.