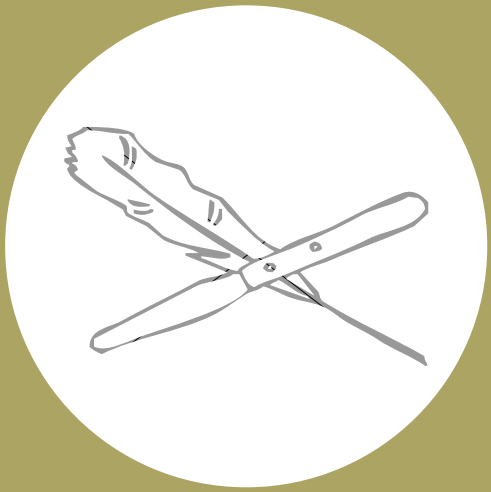
ISSN 2306-9139

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

№ 1(8)
2016



Охотинское общество грунтоведов

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

№ 1(8)
2016

Журнал основан в 2012 г.

Главный редактор
Р.Э. Дашко

Редакционная коллегия:
Е.А. Вознесенский, В.В. Дмитриев, М.С. Захаров, Д.Ю. Здобин (*зам. главного редактора*)
И.П. Иванов, В.М. Кнатько, В.А. Королев, Н.Г. Корвет,
Н.Н. Матинян, А.А. Свертилов

Выпускающий редактор
Д.Ю. Здобин

Зав. редакцией Ю.Ю. Соколова
Адрес редакции: 190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7, лит. А
тел.: +7 921 986-07-57
www.okhotin-grunt.ru
E-mail: gruntovedenie@mail.ru
okhotin-grunt@mail.ru

Санкт-Петербург
Издательство «Центр генетического грунтоведения»

© Редакция журнала «Грунтоведение», 2016

УДК 624.131.1
ББК 26.3

СОДЕРЖАНИЕ

М.С. Захаров
Проблемы развития научного языка в инженерно-геологических исследованиях **3**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ
Д.Ю. Здобин
Градация системы «ил глинистый – глина текучая» по соотношению фаз донного грунта: универсальный показатель трансформации осадка **9**

РЕГИОНАЛЬНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ
А.В. Русаков
Генезис карбонатных лессовидных суглинков западно-заволжской озерно-ледниковой равнины, условия седиментации, свойства развитых на них почв **16**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
Е.Г. Вержбицкая
Особенности оценки инженерно-геологических условий территорий для проектирования и строительства зданий и сооружений при наличии в разрезе погребенных болотных отложений (на примере Санкт-Петербурга) **34**

ИСКУССТВЕННЫЙ ЛИТОГЕНЕЗ
М.В. Кнатько, Д.Ю. Здобин, С.Ю. Жабриков
Применение геополимера ГУТ для возведения ограждающих конструкций котлованов **38**

ЮБИЛЕИ
Вячеслав Александрович Усов **45**

РЕЦЕНЗИИ
Учебное пособие «Лабораторные работы по грунтоведению» **46**

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ **48**

УДК 624.131.1

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУЧНОГО ЯЗЫКА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

М.С. Захаров

Санкт-Петербургский национальный открытый институт
197183, Санкт - Петербург, ул. Сестрорецкая, 6,
zhmike@mail.ru

Рассматривается знаковый язык инженерной геологии на основе системного подхода к построению предметной области исследований. Показаны сложность интерпретации этого языка и его структурных уровней. Анализируются различного вида инженерно-геологические модели.

Ключевые слова: научный язык, объект и предмет научных исследований, геоинформация, модели, организация геопространства, геологические риски, геоинформационные системы.

Мир идей, образов, абстракций,
понятий в такой же мере
представляется terrae incognita,
как мир непосредственного опыта

Д. Харвей

Системный подход позволяет наиболее корректным образом на основе субъективного отбора и сознательного синтеза информации формировать предметную область инженерно-геологических исследований. В научных исследованиях с предметом обращаются как с реальностью, но в особой знаковой форме, образующую сложную коммуникативную многоуровенную систему.

Эмпирический анализ любой многопараметрической системы не может раскрыть полностью её истинной структуры, ибо ни одна связь между параметрами-свойствами в такой системе не может быть выделена в чистом виде. Любая взаимозависимость двух компонентов в рамках такой структуры в той или иной мере интегрирует в себе влияние всех остальных. Таким образом, изучаемая структура закрыта по принципу «чёрного ящика». Для одной и той же структуры можно представить несколько частных объяснительных моделей, отражающих механизмы связей между любыми компонентами, причём каждая модель является частным функциональным аналогом всей структуры. Это обстоятельство заставляет переходить к поискам синтетической модели, которая бы содержала новые элементы и связи и одновременно объясняла зафиксированные эмпирические зависимости. Теоретическая конструкция предмета в силу внутренней логики развития обособляется от изображения механизмов связи и начинает самостоятельное существование как особая знаковая система знаний об объекте исследований [1]. Таким образом, для своего функционирования познавательные конструкции всегда требуют разработки специального иерархически построенного знакового языка. Именно в этом видится основная проблема общей теории Инженерной Геологии. Недостаточно словесно и однозначно определить предмет науки, необходимо ещё разработать синтетическую модель, которая бы отражала структуру объекта в процессе познания. Это отражение объекта в логическом пространстве должно одновременно указывать и на результат, и на средства познания. Усложнение представлений о предмете исследований в ходе развития науки неизбежно и вполне согласуется с современными критериями эффективности научного знания.

Структура синтетической модели предмета может быть представлена в виде системы связей между весьма разнородными компонентами, которую можно зафиксировать в виде многопараметрических таблиц, при этом связи, образующие структуру предмета, являются сами по себе объектами особого рода и существуют только в объяснительных моделях. В инженерной геологии дело осложняется ещё тем, что знаковый язык, на котором про-

исходит описание отдельных компонентов и их связей, чрезвычайно разнороден, т. е. представлен единицами различной физической природы и размерности, а также вербальными характеристиками различной степени сложности. Очевидно этот язык имеет многоуровневый характер и категориальный базис для каждого уровня (рис.1). На квазистатическом уровне знакового языка, например, можно рассматривать территории разного типа как внутренние (организменные) системы. Это по сути дела объяснительные модели инженерно-геологической обстановки, вытекающие из всестороннего историко-генетического анализа, фиксирующего повсеместную ступенчатость и блоковость земной поверхности. В основу динамического уровня (на рис. 1 условно обозначен (D), (E), (F)) могут быть положены интерпретации различного рода взаимодействий, в том числе основанные на гипотетических предположениях о стационарности и эргодичности геологических признаков в пространстве, о многомерной корреляции признаков. На этих гипотезах фактически базируется решение всех задач идентификации геологических тел с применением статистического анализа (тренд-анализ, дискриминантный, факторный, метод главных компонент и т.д.). Очевидно, что эти гипотезы одновременно не только обслуживают операции со знаковым языком второго уровня, но и являются основой процедур соотнесения статического и динамического уровней используемого языка.

Верхний, наиболее удалённый от объекта уровень знакового языка (на рис. 1 условно обозначен (J), (K), (L)) связан с представлением об «идеальном объекте», т. е. о таком знаковом изображении который передаёт опосредованные данные об объекте на основе теоретических представлений соответствующих разделов науки. В физике, например, были предложены так называемые «идеальные предметы»: тяжёлая точка, идеальный рычаг, абсолютно упругое тело, математический маятник и др. В геологических науках роль «идеального объекта» следует отнести к геологической карте. Язык картографии обладает весьма специфическими свойствами и требует специального рассмотрения с точки зрения максимальной его эффективности. В условиях ограниченного развития формализованных средств познания карту можно рассматривать как наиболее конструктивный результат системного подхода. Картографический язык, единственный в своём роде, позволяет осуществить синтез любых абстрактных категорий с конкретным пространством и таким образом выйти на новое качество [2].

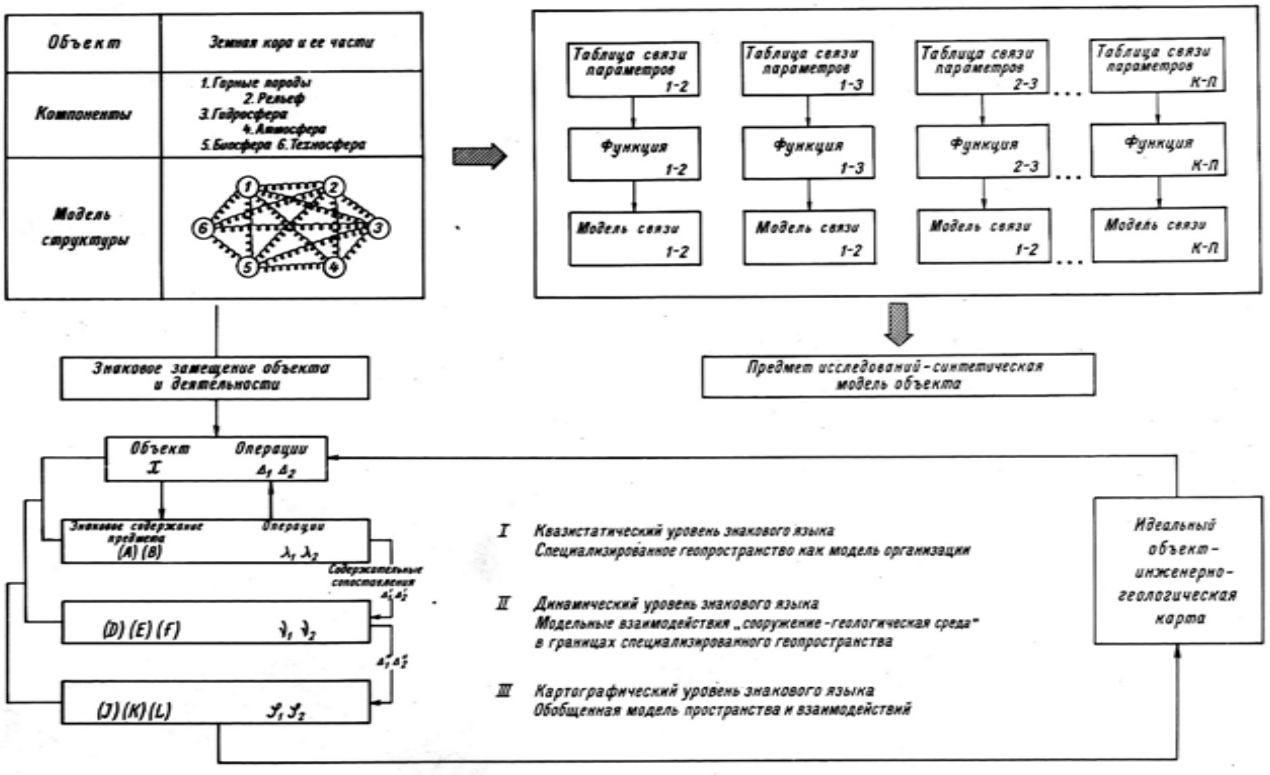


Рис. 1. Схема структуры знакового языка в Инженерной Геологии
(модифицировано по Г. П. Щедровицкому)

Предметная область региональных исследований часто сводится к понятию об инженерно-геологических условиях. Под этим термином понимают совокупность природных и техногенных факторов, определяющих условия строительства различных сооружений, ведения инженерных работ и хозяйственного использования территории. Это понятие как бы оторвано от материального носителя, - территории, сводится к текстуальному описанию разнообразных факторов и иллюстрируется различными специальными картами, разрезами, схемами, таблицами.

Проблему целостности и полноты информации каждый исследователь решает в зависимости от того, как он представляет соответствие между эмпирическим пространством предмета и его логическим отображением в средствах познания. В конечном счёте в такой ситуации создаётся «ускользающая реальность», за которой нет чётких представлений о пространственно-временных отношениях элементов внутри инвариантной структуры. Самостоятельность и успешность любой региональной дисциплины, в том числе Региональной Инженерной Геологии, с точки зрения построения научного объяснения фактов, упирается в разработку собственной схемы структуризации изучаемого пространства и его инвариантности в рамках принятых историко-генетических механизмов, в результате которых формируются геологические тела разных рангов, будь то литологические формации, или инженерно-геологические комплексы, или структурно-формационные яруса. В инженерной геологии в силу разнообразия расчётных задач в области взаимодействия сооружений с основанием или средой, сложенными горными породами, всегда будут востребованы различные схемы структуризации, основанные на разных критериях неотличимости составляющих элементов. Возникающий при этом модельный ряд структуризации (рис. 2) неизбежно сталкивается с большим разнообразием знаковых представлений структуры любой целостной системы, например, начиная от обзорной геологической карты местности (общая инженерно-геологическая модель) и кончая расчётной схемой устойчивости бетонной плотины на скальном основании, расположенной на одном из створов в пределах исследованной территории (рис. 3, 4, 5). Важно, чтобы региональные модели, закреплённые в картографических изображениях особым знаковым языком, обеспечивали наиболее эффективный и достоверный переход к любого рода расчётной модели. При этом именно карта претендует на роль универсальной структурной модели местности в силу специфики картографического языка [2].

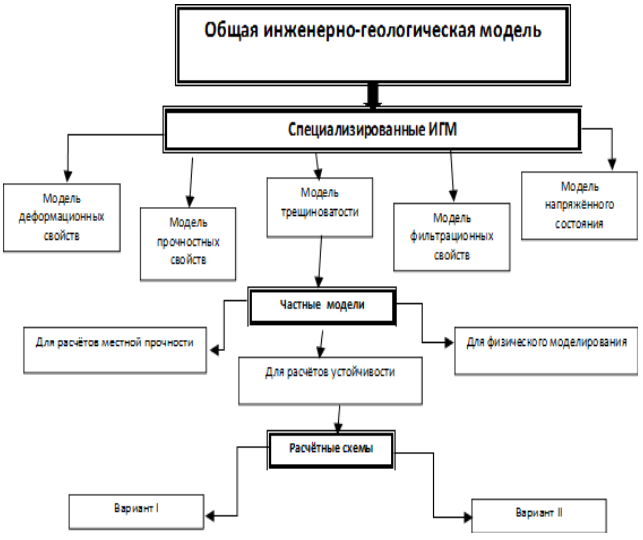


Рис. 2 Схема иерархии инженерно-геологических моделей

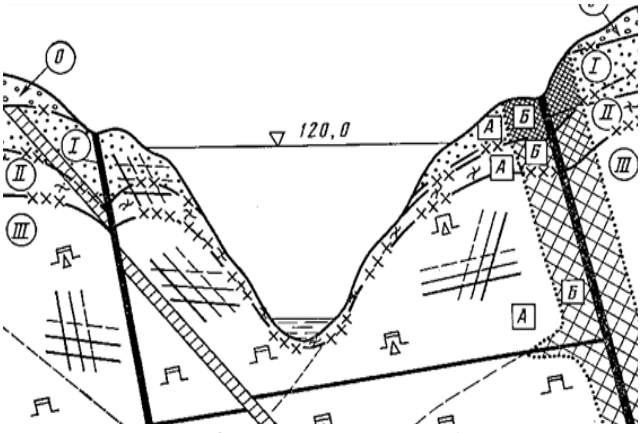


Рис. 3. Традиционная общая инженерно-геологическая модель (разрез по створу бетонной плотины) [3]

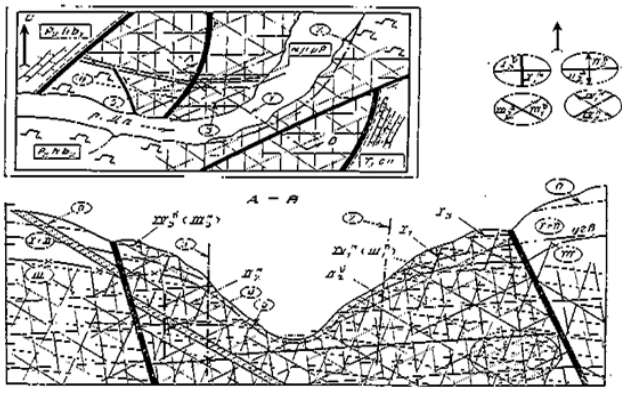


Рис. 4. Специализированные модели трещиноватости [3]

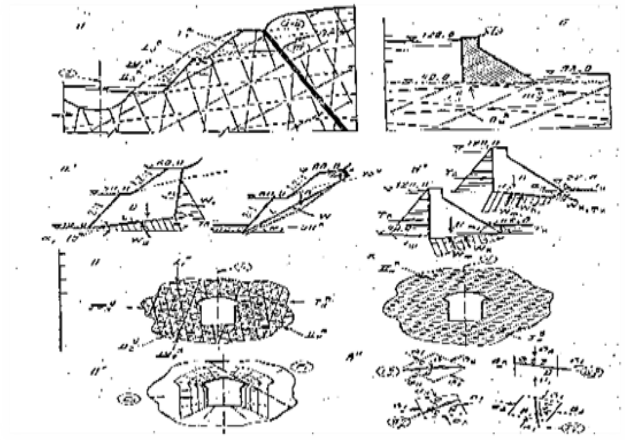


Рис. 5 Частные модели и расчётные схемы для откосов и деривационных тоннелей [3]

Проблемы знакового языка возникают прежде всего на уровне разработки концептуальной модели, которая должна отражать базовые пространственно-временные отношения, лежащие в основе научного объяснения. В научном отношении разработка пространственно-временных отношений в Инженерной Геологии должна возлагаться на соответствующий раздел, который был назван Общей Инженерной Геологией, а в Региональной Инженерной Геологии необходимо создать систему верификации любых теоретических построений. Региональные исследования обычно охватывают столь широкий круг вопросов, что решение этой проблемы не представляет существенных трудностей поскольку это комплексное геологическое исследование, обычно осуществляемое от общего к частному и выходящее на практику освоения территории. В этом процессе постоянно возникают новые факты, сомнения и предположения, позволяющие критически рассматривать любые общепринятые догмы.

От научной разработки пространственно-временных отношений мы в праве ожидать, прежде всего, получение концепции организации изучаемого геопространства, т.е. такой объяснительной модели, которая бы связала воедино на базе исторического и системного подходов все частные объяснительные модели: современного рельефа поверхности, распространения различных комплексов пород, их вещественного состава, физического состояния и свойств, распространения и условий залегания подземных вод, развития определённых парагенезов или парастерезов геологических процессов. В эту модель должна быть включена и существующая хозяйственная инфраструктура (техносфера), которая исторически возникла на изучаемой территории. Только в этом случае мы можем конкретно говорить о рациональном (или нерациональном) использовании Геологической среды и строить прогнозы дальнейшего развития строительства и землепользования. В такой модели автоматически должны проявиться риски, связанные с новыми проектами различных зданий и сооружений.

К геологическим рискам, связанным с объемом и качеством информации, получаемой в результате инженерно-геологических изысканий, относятся [4]:

- исследования и разведка в ограниченном объеме;
- неадекватные исследования на месте проведения работ и/или в лаборатории;
- неподходящая исходная модель грунтового массива;
- ошибочный прогноз поведения грунтового массива, нарушенного выработкой;
- ограниченный объем информации о гидрогеологических условиях;
- недостаток ресурсов и оборудования для геологоразведки;
- ограниченный доступ к месту работы;
- отсутствие систематического картирования контактной зоны производства инженерных работ;
- несоответствие геологической информации условиям строительства.

Очень часто отмеченные категории рисков усугубляются применением неадекватного знакового языка, который в своих традиционных формах не позволяет отразить всю сложность возникающих проблем на уровне разработки проектной документации. В современной обстановке при исследовании крупных объёмов геологической среды необходимо создавать объёмные модели для решения самых различных задач проектирования и строительства, при этом в лучших образцах удаётся соединение геологической и конструктивной моделей (рис. 6, 7) [5, 6].

Актуальные проблемы развития трёхмерного геологического моделирования были названы на Европейском конгрессе по региональной научно-ориентированной картографии и информационным системам (Испания, Барселона, 15-17 июня 2015 года):

1. необходимо переходить от моделей для решения одной задачи к многократному и многоаспектному использованию моделей;

2. необходимо развивать мультимасштабные трехмерные модели;

3. модели должны охватывать все аспекты геологических знаний;

4. необходима разработка стандартов мета-

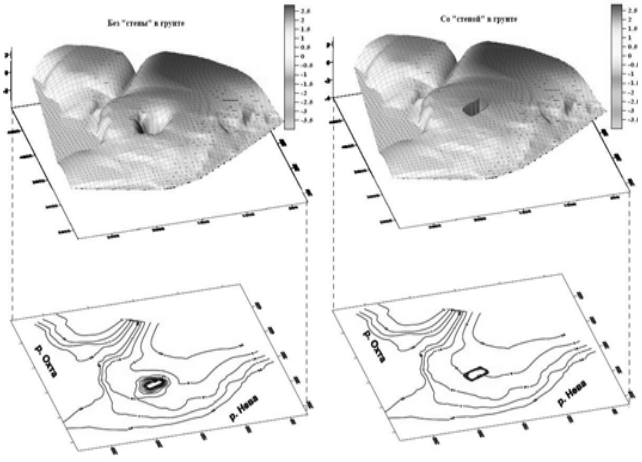


Рис. 6 Схема гидроизогипс водоносного горизонта при наличии котлована и «стены в грунте» (предоставлено Е. А. Ломакиным, 2012)

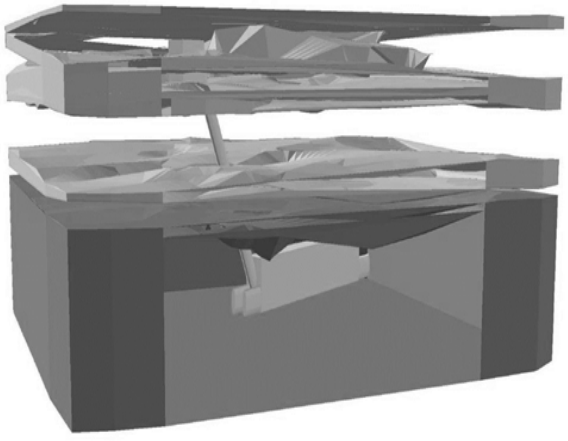


Рис. 7. Объёмная модель, представляющая положение подземного сооружения и наклонного хода среди пластов горных пород различной водопроницаемости (предоставлено Е. А. Ломакиным, 2012)

данных и обменных форматов для совместного использования разных моделей;

5. трёхмерные модели геологической среды должны постоянно обновляться по мере поступления новых данных;

6. необходимо уметь рассчитывать и визуализировать точность построения моделей;

7. необходимо отслеживать историю данных от первичных документов через модельные расчеты и до включения в трех мерную модель;

8. Трехмерное моделирование — это не цель, а средство. Следует особо отметить, что трехмерное моделирование геологической среды коренным образом отличается от трехмерного моделирования в архитектуре, машиностроении, в области анимации, дизайна и даже демонстрации рельефа поверхности в трехмерном пространстве («2,5D-модель»). Дело в том, что в геологии надо моделировать расположение прилегающих друг к другу геологических тел, в то время как в архитектуре речь идёт о заполнении пустого пространства.

В региональных исследованиях, охватывающих значительные территории, необходимо создавать исчерпывающие геоинформационные системы (ГИС), позволяющие многочисленным пользователям решать различные хозяйственные вопросы, принимать управленческие решения и моделировать природные и техногенные опасности (наводнения, оползни, сели, лавины и т. д.). Такие ГИС будут включать в себя базы данных, редакторы растровой и векторной графики, а также отраслевые аналитические средства по геологии, метеорологии, землеустройству, экологии, муниципальному управлению, транспорту, экономике и т. д. Например, система «Сочи ГИС-3D», разработанная в 2009-2012 годах, обеспечивает:

- работу всех пользователей в едином геоинформационном пространстве;
- работу с отраслевыми информационными базами данных;
- работу с трёхмерными картами и моделями в широком диапазоне картографических масштабов;
- производство тематического ситуационного моделирования и выдачу рекомендаций для принятия управленческих решений;
- доступ потребителей к информационным ресурсам WEB;
- работу пользователей в единой электронной системе документооборота; контроль доступа к данным и защиту информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щедровицкий Г. П.* Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок. В кн.: Системные исследования. М.: 1981.

2. *Захаров М. С.* Картографический метод в региональных инженерно-геологических исследованиях. Учебное пособие. СПб: изд. СПб горного института, 1997.

3. *Фишман Ю. А., Мирошникова Л. С.* Опыт разработки и применения инженерно-геологических моделей в практике гидротехнического строительства. Ж. Инженерная геология, №5, 1984.

4. *Захаров М. С., Арнаутов А. И.* К вопросу создания системы управления качеством инженерно-геологических изысканий: актуальность, понятие, основные модели, Ж. Грунтоведение, №1, 2015.

5. Технология экспертного картирования подземного пространства – инструмент его эффективного изучения и нормативного использования. // Ломакин Е. А. и др. Тезисы межрегиональной научно-практической конференции. СПб, изд. ЛенНИИпроекта, 2008.

6. *Бершов А. В.* О необходимости перехода в инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканиях к трёхмерному моделированию и представлению материалов. // В сб. Материалы XI Общероссийской конференции изыскательских организаций. 9-11 декабря 2015 года.

УДК 551.465; 624.131

ГРАДАЦИЯ СИСТЕМЫ «ИЛ ГЛИНИСТЫЙ – ГЛИНА ТЕКУЧАЯ» ПО СООТНОШЕНИЮ ФАЗ ДОННОГО ГРУНТА: УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ ОСАДКА

© 2016 Д.Ю. Здобин

Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034 Россия;
E-mail: zdobin_soil@mail.ru

Рассматриваются результаты многолетних мониторинговых исследований физико-химических свойств голоценовых илов Кандалакшского залива Белого моря. На основе всестороннего анализа соотношения величин естественной влажности (W_e), влажности верхнего предела пластичности (W_L) и содержания органического вещества (Сорг) по глубине непрерывной секвенции морских органо-минеральных грунтов делается вывод о возможности разделения осадка по физико-химическим показателям путем введения показателя трансформации осадка – $I_{то}$. Анализ распределения свойств осадка по глубине залегания, проведенный на других акваториях (море Лаптевых, Южно-Китайское море) заставляет предположить об универсальности данного показателя. Постулируется необходимость разделения единой природной системы «осадок – ил – текучая глина» граница «седиментогенез – диагенез» («ил – текучая глина») по $W_e \geq W_L$ и Сорг≥3%.

Ключевые слова: ил глинистый, органическое вещество, физико-химические свойства, стадийность формирования глинистых грунтов

Фундаментальной проблемой седиментологии является выбор критериев разделения пограничной системы придонного слоя «вода – донные осадки» (Benthic Boundary Layer), который в настоящее время из-за неопределенности литологической терминологии исследователи называют по-разному. Если термин «придонный нефелоидный слой» вполне устоялся и не вызывает особых возражений, то обозначение наддонной суспензии «наилком», не имеющим строгих математических характеристик, хоть и достаточно широко распространено, но абсолютно «размыто», субъективно и не имеет четкого физического смысла. Синонимом «наилка» является «жидкий флуккулированный слой» [5], применяемый при описании процессов океанической седиментации, который более точен, но, тем не менее, так же математически не обоснован.

Еще более запутана и неоднозначна, чем в системе «взвесь – осадок», понятийно-терминологическая база при наименовании объектов ранжирования в системе «осадок – ил – глина». «Наилок», «жидкий ил», «полужидкий ил», «пластичный ил» – вот далеко не полный перечень терминов, встречающихся в литологической и грунтоведческой литературе при описании верхнего слоя донных осадков.

В связи с этим возникает вопрос о введении в описании аквальных осадков некого «универсального показателя трансформации», характеризующего степень изменения описываемой системы, и на основании которого становится возможным строгое математическое выделение (ранжирование) стадий процесса седиментогенеза с вполне конкретной терминологической базой [4].

При введении данный показатель должен удовлетворять ряду условий:

- распространяться на все природно-климатические зоны мира;
- не зависеть от скорости поступления осадочного материала в бассейн седиментации;
- не зависеть от минералогического и гранулометрического состава взвеси;
- не зависеть от гидродинамического режима акватории, включая скорость придонных течений;
- не зависеть от химического состава морской воды бассейна седиментации;
- применяться к осадкам шельфа (для океанических осадков и осадков открытого моря недостаточно репрезентативных данных).

Основой для введения индекса трансфор-

мации осадка – Ito – явился неоспоримый постулат, что «донный осадок – четырехфазная (твердая, жидкая, газообразная и биотическая), термодинамически неустойчивая природная система, изменение одной фазы в которой ведет к кардинальной перестройке всего объекта».

Первоначально рассматривался вариант использования в расчетах Ito процентного содержания наиболее представительной (либо лабильной, либо доминирующей) фракции гранулометрического состава донных отложений. Дальнейшие исследования поставили под сомнение корректность данного предложения по двум основным причинам теоретического и методологического характера.

Во-первых, методика определения гранулометрического состава горных пород, в том числе и донных осадков, основана на применении четырех совершенно разных физических законов:

а) свободное движение жидкости через поровое пространство фракция >2 мм (крупнообломочные частицы);

б) капиллярное поднятие фракция 2-0.1 мм (песчаные частицы);

в) падение сферических частиц в жидкости (закон Стокса) – фракция 0,1-0,002 мм (пылеватые частицы);

г) верхняя граница действия Броуновского движения в глинистой суспензии 0,002 мм (глинистые частицы).

Как показывают последние экспериментальные исследования определения гранулометрического состава глинистых пород с помощью лазерных анализаторов, отклонения от теоретически предсказанных в двух последних фракциях, весьма существенны.

Во-вторых, в гранулометрическом отношении донные осадки крайне сложная и нестабильная фазовая система, в которой часто невозможно четко выделить определенные фракции. Наличие гидрофильных глинистых минералов в составе твердой фазы донных осадков, повсеместное присутствие растворенного органического вещества, значительный размер двойного электрического слоя, окружающего частицы глинистых минералов – все эти факторы, накладываясь друг на друга, суммируются и порой существенно искажают истинную картину распределения частиц по фракциям в донном осадке, порой резко завышая содержание фракций 0,005, 0,002 за счет более мелких, в ряде случаев агрегированных между собой, частиц. Кроме того, применение совершенно разных методов определения самого гранулометрического состава (отмучивания, ареометрический, пипеточный, лазерный), а также различных способов пробоподготовки осадка к анализу (механический, физический, физико-химический), учитывая вышеназванные причины, ведет к тому, что получаемые результаты гранулометрического состава неоднозначны и порой просто несопоставимы между собой [2].

Таким образом, становиться очевидным, что возможный индекс трансформации осадка должен некое соотношение четырех фаз (твердой, жидкой, органической и газовой) «донной системы», которые меняются по вертикали вследствие протекания геологических процессов.

Наиболее полно изучена твердая фаза донного осадка, наименее газообразная. Промежуточное положение занимают жидкая и органическая составляющая. Если изучение жидкой фазы в целом укладывается в общий тренд океанологических исследований, то обратная картина наблюдается в изучении органической составляющей осадка.

Образование и разрушение органического вещества является важнейшим процессом, протекающим в биосфере, источником постоянной химической энергии для превращения большинства неорганических соединений. Совокупность этих превращений составляет цикл углерода, определяющий круговорот других химических элементов. Не являются исключением и современные процессы морской седиментации, где влияние органического вещества на формирование состава, строения и физико-химических свойств донных глинистых осадков особенно велико.

Однако, несмотря на важность изучения Сорг в современных донных осадках, до последнего времени данная фаза является наименее исследованной по сравнению с другими компонентами, что связано, вероятно, как с недооценкой его влияния на формирование осадка, так и сложностью самого объекта для изучения. В последнее время были получены принципиально новые данные поведения Сорг в единой системе «взвесь – поверхностный слой осадков (наилок) – донные отложения».

Особое значение в изучении фазового состава донных осадков имеет органическое вещество, которое в силу известных причин является важнейшим компонентом, определяющим все последующие трансформации осадка. Изучением состава органического вещества в современных морских осадках предметно занимаются известные отечественные океанологи: Н.Г. Романкевич [12, 13]., И.А. Немировская [8]., А.Ю. Леин [7], М.Д. Кравчишина

[6] Н.А. Беляев [1]. Анализ биогеохимических процессов, участвующих в преобразовании органического вещества, как водной взвеси, так и осадков, проводится с использованием гидрохимических, геохимических, микробиологических, радиоизотопных и изотопных методов. Для океанологического подхода характерно детальное изучение состава органического вещества для создания, как частных, так и общих биогеохимических схем. Результаты многолетних исследований Сорг взвеси и донных осадков Белого моря Н.А. Беляевым в общем виде сводятся к следующему [1].

Во-первых, по совокупности данных о молекулярном составе алканов, изотопном составе органического вещества и величинах C/N отношения был определен преимущественно терригенный генезис ОВ осадков Белого моря.

Во-вторых, преобладание терригенного органического вещества над планктоногенным связано с генезисом органической составляющей взвеси, т. е. поступлением осадочного материала с твердым стоком рек.

В-третьих, наиболее существенное изменение состава органо-геохимических маркеров происходит в тонком пограничном слое «вода-дно».

Среднее содержание растворенного органического вещества (РОУ) в водах Белого моря по обобщенным данным составляет 4 мг/л, в поровых водах верхнего слоя (1-5 см) донных осадков – 135 мг/л, снижаясь к слою 10-15 см до 100 мг/л.

Концентрация взвешенного органического вещества (ВОУ) колеблется от 14 до 365 мкг/л при средней концентрации 109 мкг/л. Средняя концентрация в поверхностном слое составляет 150 мкг/л. Взвесь Белого моря летне-осеннего периода по C/N отношению и молекулярному составу углеводородов имеет преимущественно терригенный генезис (60-70% ВОУ). На долю планктоногенного и микробиального ОВ приходится соответственно в среднем по 15-20 % [1]. Результаты Н.А. Беляева полностью укладываются в числовые значения Сорг полученными нами в рамках данной работы и согласно которым максимальное содержание Сорг приурочено к интервалу 0-5 см.

Следовательно, рассмотрение проблемы формирования физико-химических свойств морских органо-минеральных грунтов невозможно без анализа состава Сорг взвеси и донных осадков, так как и на границе раздела «вода – поверхностный слой», и далее по глубине разреза донных глинистых отложений именно степень трансформации органического вещества влияет на физико-химические свойства осадка.

Из вышеизложенного вытекает положение о преимущественно терригенном характере органического вещества во взвеси. Приняв его за исходное, можно утверждать, что при попадании в бассейн седиментации глинистая частица уже гидратирована и на своих контактах (сколах и базисах) несет значительное количество (до 70%) Сорг, которое адсорбировано на его поверхности при транспортировке. Следовательно, можно предположить, что оставшиеся 30% планктоногенного Сорг являются катализатором агрегации глинистых частиц между собой.

Данные Н.А. Беляева для Кандалакшского залива свидетельствуют о преимущественно терригенном органическом веществе взвеси. Однако для бухт фьордового типа с большой биологической продуктивностью можно говорить, как минимум, о смешанном (терригенно-планктоногенном) характере органического вещества взвеси.

Предположения о преимущественно биогенном механизме формирования морских органо-минеральных грунтов подтверждаются данными лабораторных исследований структурообразования глинистых грунтов в присутствии Сорг.

В рамках данного исследования было проведено моделирование поведения осаждения взвеси из чистых мономинеральных разностей (монтмориллонит, гидрослюда и каолинит) в присутствии белков, жиров и углеводов разной концентрации (1, 3, 5%). Эксперименты показали, что Сорг мощнейший катализатор коагуляции глинистой взвеси. Например, добавление в суспензию монтмориллонита 3-х% углеводов ведет к уменьшению количества глинистой фракции (<0,002 мм) в 15 раз (с 76 до 5%) и соответствующему увеличению пылеватой (0,1-0,002) в 3,5 раза (с 23 до 78%).

Эти результаты крайне важны, т. к. подтверждают принципиальное положение, что даже минимальное количество Сорг является «спусковым крючком» и катализатором коагуляции, а также агрегации отдельных глинистых частиц, находящихся во взвеси, в микроагрегаты с дальнейшим осаждением под действием гравитации на морское дно.

Вторым организующим моментом в наших построениях стали принятые в грунтоведении частные (по определенному свойству) классификации грунтов. Так, по показателю текучести, глинистые грунты подразделяются в общем виде на: текучие, пластичные и твердые. Этот расчетный показатель оперирует

двумя значениями: W_L – влажность на границе текучести и W_p – влажность на границе раскатывания. Влажность на границе раскатывания та влажность в глинистой породе, когда грунт переходит из пластичного состояния в твердое. Для наших построений имеет значение показатель W_L. Влажность на границе текучести выбрана как одна из «критических точек» состояния осадка, в которой силы сцепления (с) и угол внутреннего трения (φ) стремятся к 0 (в общем виде – структурная прочность осадка), что характерно для перехода любой глинистой породы из пластичного состояния в текучее.

В третьих (по счёту, но никак не по значению) основой послужили исследования стадийности формирования глинистых отложений. Необходимо подчеркнуть, что изучение стадийности процессов формирования глинистых пород вообще и осадка в частности – одна из важнейших задач современной литологии. Практически все исследователи в той или иной степени выделяют это направление среди других аспектов литологии в самостоятельную дисциплину – седиментологию. По данной проблематике существуют как обобщающие монографии, отражающие ту или иную сторону седиментационного процесса, так и отдельные работы, посвященные изучению влияния на него того или иного свойства.

Следует еще раз подчеркнуть, что стадия седиментогенеза, в ряду седиментогенез – диагенез (ранний и поздний) – литогенез – катагенез, наиболее значима, так как исходный минеральный состав, наличие биотической составляющей и физико-химические условия структурообразования определяют в последующем характер любых трансформаций в грунте.

Качественный прорыв в изучении процесса структурообразования начался с момента применения физико-химической механики дисперсных сред, с помощью которой удалось построить двухфазную (твердая и жидкая компоненты) модель формирования глинистого осадка [9-11].

Важнейшей составляющей этого труда стало теоретическое обоснование стадий процесса литогенеза с привлечением большого массива лабораторных данных по физико-механическим свойствам глинистых пород, анализа порового пространства, типов контактов и типов микроструктур с использованием электронной микроскопии.

В итоге было выделено три стадии литогенеза: диагенез (ранний и поздний), катагенез (ранний, средний и поздний) и метагенез.

Ранний диагенез по В.И. Осипову характеризуется дальними и ближними коагуляционными контактами, ему присуще свободное геостатическое уплотнение с пористостью 60-75%, естественной влажностью 45-95% ($W_e \geq W_L$), скрытотекучая консистенция, очень большой коэффициент сжимаемости (100-30 МПа$^{-1}$), а также ряд других параметров.

При переходе в стадию позднего диагенеза дальние и ближние коагуляционные контакты сменяют только ближние, пористость и естественная влажность снижаются до значений соответственно 35-45% и 30-45% ($W_e \leq W_L$), а осадок переходит в текуче и мягкопластичное состояние.

Как видно из приведенного выше описания первого этапа литогенеза, В.И. Осиповым рассматривался только тот интервал осадка, к которому применимы лабораторные методы исследования физико-механических свойств.

Необходимо подчеркнуть, что именно В.И. Осипов был первым, кто в понятие литогенеза внес объективные, измеряемые физико-химические характеристики среды: тип микростроения, тип контактов и, самое главное, физико-механические характеристики вещества, вследствие чего осадочный процесс превратился из во многом описательного, за исключением гранулометрического состава, линейных параметров и геохимических характеристик в цифровой.

Таким образом, учитывая все вышеизложенное, показатель трансформации осадка должен включать в себя математическое выраженное изменение соотношение фаз на все отрезке образования осадка от взвеси до донного грунта (горной породы). В нашем случае этими компонентами должны выступать жидкая и биотическая фазы. Если биотическая компонента вполне определенна, то жидкую компоненту целесообразно разделить на две составляющие: общее (суммарное) содержание воды в осадке, и то количество воды, которое непосредственно участвует в физико-химических реакциях с твёрдой фазой и придаёт глинистому грунту фундаментальное свойство – пластичность. В общем виде индекс трансформации осадка выступает неким формализованным выражением процесса седиментации и раннего диагенеза.

В связи с этим для определения индекса трансформации были выбраны показатели состава первого порядка, определяемые одним прямым методом: естественная влажность осадка (W_e), влажность на границе текучести (W_L) и относительное содержание органического вещества (Сорг). В общем виде индекс

трансформации осадка можно записать в следующем виде:

$$I_{то} = \frac{W_L - W_e}{C_{орг}^{\ 2}},$$

где $I_{то}$ – индекс трансформации осадка
W_L – влажность на границе текучести, %,
W_e – естественная влажность осадка, %,
Сорг – относительное содержание органического вещества, %.

При использовании данного коэффициента все множество состояний донного осадка разбивается на интервалы значений от –n до +n с переходом через 0. Отрицательные значения Іто относятся к области осадка (ила), положительные $I_{то}$ к области породы (глины).

Следует подчеркнуть, что введение и использование данного индекса не противоречит предыдущим геологическим, литологическим и грунтоведческим построениям, основанным на разных критериях и принципах, для обоснования и выделения стадий формирования осадочных пород. Скорее, это попытка создать объединенный литологический и грунтоведческий критерий для выделения стадий на основании физико-химических свойств осадка (соотношение W_e, W_L и Сорг).

Данный показатель был впервые применен для донных осадков бухт Кандалакшского залива Белого моря, где проводятся многолетние (с 1996 г) ежегодные мониторинговые наблюдения за образованием современных органо-минеральных грунтов.

По мере расширения географии исследований привлекались результаты исследований и по другим морям. В качестве примера ниже приводятся таблицы (табл. 1-6) непрерывной секвенции донных глинистых осадков, отобранных в разные годы на шельфе морей Евразии.

Таблица1.
Белое море, Кандалакшский залив, бухта Никольская (2009 г.)

Горизонт, см	W_e, %	W_L, %	Сорг, %	$I_{то}$
-0.05-0.0	539	110	11,06	-3,5
0.0-0.05	235	109	8,89	-1,6
0.05-1.0	205	102	6,85	-2,2
1.0-2.0	181	90	6,47	-2,2
2.0-3.0	170	90	5,63	-2,5
3.0-4.0	166	91	5,94	-2,1
4.0-5.0	144	85	5,81	-1,7
5.0-8.0	147	86	5,73	-1,9
9.0-11.0	141	85	5,53	-1,8
14.0-16.0	145	89	5,61	-1,8
16.0-19.0	137	92	5,68	-1,4
19.0-21.0	139	87	5,32	-1,8
21.0-24.0	124	91	5,3	-1,7
24.0-26.0	123	94	5,22	-1,1
26.0-29.0	118	93	5,18	-0,9
29.0-30.0	116	92	5,06	-0,9
34.0-35.0	112	95	4,86	-0,7
35.0-36.0	98	98	4,79	0,0
36.0-39.0	96	95	4,83	0,0
40.0-42.0	93	93	2,98	0,0
43.0-45.0	90	93	2,85	0,3

Таблица 2.
Белое море, Кандалакшский залив, бухта Никольская (2011 г.)

Горизонт, см	W_e, %	W_L, %	Сорг, %	$I_{то}$
0-0.3	195	119	7,7	-1,3
0.3-0.5	184	111	7,6	-1,3
5.0	182	111	6,8	-1,5
10.0	179	103	6,9	-1,6
15.0	167	101	5,9	-1,9
20.0	161	120	4,8	-1,8
25.0	157	118	5,0	-1,6
30.0	145	115	3,9	-2,0
35.0	149	126	3,0	-2,6
40.0	140	120	2,7	-2,7

Таблица 3.
Белое море, Кандалакшский залив, бухта Никольская (2012 г.)

Горизонт, см	W_e, %	W_L, %	Сорг, %	$I_{то}$
0-2	343	72	9,2	-3,2
3-5	308	69	7	-4,9
5-10	238	74	6,5	-3,9
10-15	209	74	6,4	-3,3
15-20	200	74	6,4	-3,1
20-25	196	71	6	-3,5
25-30	184	67	6	-3,3
30-35	170	67	5,2	-3,8

Таблица 4.
Море Лаптевых, бухта Моржовая, (2008 г.)

Горизонт, см	W_e, %	W_L, %	Сорг, %	$I_{то}$
0.0-3.0	103	48	3,3	-5,1
3.0-7.0	74	40	3,1	-3,5
8.0-12.0	47	31	2,8	-2,0
13.0-16.0	22	23	1,9	0,3
18.0-22.0	19	21	1,8	0,6

Таблица 5.
Море Лаптевых, залив Нордвик, бухта Отмелая (2008 г.)

Горизонт, см	W_e, %	W_L, %	Сорг, %	$I_{то}$
0.0-1.0	375	71	4,3	-16,4
3.0-5.0	224	51	3,3	-15,9
9.0-15.0	104	39	3	-7,2
20.0-25.0	85	54	1,9	-8,6
35.0-40.0	60	34	1,7	-9,0

Таблица 6.
Южно-Китайское море, месторождение «Белый Тигр» (2009 г.)

Горизонт, см	W_e, %	W_L, %	Сорг, %	$I_{то}$
0,0-1,0	163	76	6	-2,4
10,0-11,0	159	71	7	-1,8
20,0-21,0	149	71	6	-2,2
30,0-31,0	148	70	6	-2,2
40,0-41,0	146	70	7	-1,6
50,0-51,0	142	69	7	-1,5
60,0-61,0	143	70	7	-1,5
70,0-71,0	141	68	6	-2,0
80,0-81,0	139	65	6	-2,1
90,0-91,0	137	64	7	-1,5
100,0-101,0	136	63	6	-2,0
110,0-111,0	137	64	6	-2,0
120,0-121,0	139	62	5	-3,1
130,0-131,0	136	61	6	-2,1
140,0-141,0	141	60	6	-2,3
150,0-151,0	129	60	6	-1,9
160,0-161,0	131	58	6	-2,0

Из табличных примеров следует, что граница раздела в системе «ил–глина» при пороговых значениях $W_e = W_L$ и Сорг ≈ 3% по вышеприведенному индексу может находиться на разной глубине.

Числовые значения основных физико-химических параметров (W_e, W_L и Сорг) в системе «наилок – осадок» («осадочный туман» [3]) могут быть различны, и зависеть от конкретных геолого-геоморфологических условий седиментации определенной природно-климатической зоны.

Очевидно, что предлагаемый к использованию индекс трансформации осадка» кардинально не может решить проблему безусловной градации непрерывной секвенции современных морских отложений, но есть основания надеяться, что он все же поможет седиментологам и морским геологам достаточно точно разделять интересующую их систему. Появляется возможность, используя понятные и простые в определении показатели свойств донного осадка, дополнить морские геологические исследования грунтоведческим (физическим) смыслом, что, в свою очередь, вероятно, будет способствовать решению ряда стоящих перед ними вопросов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев Н.А.* Органическое вещество и углеводородные маркеры Белого моря. Автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. М., ИО РАН, 2015, 26 с.

2. *Здобин Д.Ю., Семенова Л.К.* О гранулометрическом анализе грунтов: классические и лазерные методы. Геоэкология № 6, 2011, с. 560-567.

3. *Здобин Д.Ю.* Стадийность образования глинистых грунтов в присутствии органического вещества // Геоэкология, 2013, № 3, С. 259-263.

4. *Здобин Д.Ю.* О возможном универсальном показателе трансформации осадка. Труды XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, М., Геос, 2015, т. III, с. 37-42.

5. *Козлов С.А.* Формирование структуры и инженерно-геологических свойств глубоководных отложений Тихого океана // Труды НИИГА - ВНИИОкеангеология. Т. 198. СПб., 2003.

6. *Кравчишина М.Д.* Взвешенное вещество Белого моря и его гранулометрический состав. М., Научный мир, 2009, 264 с.

7. *Леин А.Ю. и др.* Процессы трансформации взвеси в осадок в Карском море в сентябре 2011 г. // Геология морей и океанов. Труды

XX Международной научной конференции по морской геологии, М., Геос, 2013, т. I, с. 98-99.

8. *Немировская И.А.* Трансформация углеводородов разного генезиса в процессе седиментации. В кн. «Проблемы литологии, геохимии, рудогенеза осадочного процесса». т. 2, М., Геос, 2000, с 78-84.

9. *Осипов В.И., Соколов В.Н.* Глины и их свойства. М., Геос, 2013, 575 с.

10. *Осипов В.И.* Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М., МГУ, 1979, 232 с.

11. *Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А.* Микроструктура глинистых пород, М., Недра, 1989, 211 с.

12. *Романкевич Е.А.* Геохимия органического вещества в океане. М., Наука, 1977, 256 с.

13. *Романкевич Е.А., Ветров А.А.* Цикл углерода в арктических морях России. М., Наука, 2001, 302 с.

UNIVERSAL INDEX TRANSFORMATION OF THE SEDIMENT

© 2016 D. Yu. Zdobin

Saint Petersburg state University,
Universitetskaya nab. 7/9, St. Petersburg, 199034 Russia;
zdobin_soil@mail.ru

Discusses the results of long term monitoring studies of physics-chemical properties of Holocene silts of the Kandalaksha Bay of the White Sea. On the basis of comprehensive analysis of a ratio of values natural moisture content (We), humidity upper limit of plasticity (WL) and percentage of organic matter (Corg) at the depth of a continuous sequence of marine organo-mineral soils, the conclusion about the possibility of separation of sediment on physics-chemical parameters by introducing the index transformation of sediment – To. Analysis of the distribution of sediment properties with depth, carried out in other waters (the Laptev sea, South China sea) suggests the universality of this indicator. Necessity of the division of a single natural system "sediment – silt – clay fluid" boundary "sedimentation – digenesis" ("silt clay – clay fluid") We≥WL and the Corg≥3%.

Key words: silt clay, organic matter, physics-chemical properties, stages of formation of clay soils, universal index transformation of the sediment.

УДК 631.44:552.524

ГЕНЕЗИС КАРБОНАТНЫХ ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКОВ ЗАПАДНО-ЗАВОЛЖСКОЙ ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВОЙ РАВНИНЫ, УСЛОВИЯ СЕДИМЕНТАЦИИ, СВОЙСТВА РАЗВИТЫХ НА НИХ ПОЧВ

© 2016 А.В. Русаков

Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9,
E-mail: a.rusakov@spbu.ru

Рассмотрен генезис карбонатных лессовидных суглинков Западно-Заволжской озерно-ледниковой равнины (в пределах Ярославского Поволжья) на основании детального изучения материалов крупномасштабного почвенного картографирования и анализа геоморфологического территории, морфологического строения почв и их вещественного состава. Статистически обоснована зависимость распространения этих пород от степени естественного дренирования территории и развития рельефа в позднем плейстоцене и голоцене. Показано, что карбонатные лессовидные суглинки являются реперами тренда эволюции почвенного покрова перигляциальных районов центра Русской равнины.

Ключевые слова. Карбонатные лессовидные суглинки; перигляциальная зона Русской равнины; эволюция почвенного покрова

Введение. Лессовидные (покровные) суглинки широко распространены в перигляциальной зоне последнего неоплейстоценового оледенения Евразии. Они перекрывают маломощным (от 0,1 до 5–7 м) прерывистым плащом ледниковые отложения московского возраста, не содержат карбонатов вы верхней части, а зачастую и во всей толще. Карбонатные их разновидности, собственно лессовидные суглинки, имеют сплошное распространение на значительной площади или встречаются фрагментарно среди массивов бескарбонатных лессовидных суглинков (Подзолистые почвы…, 1980; Почвенный покров…, 1986; Разрезы отложений…, 1977; Самойлова, 1983; Судакова, Базилевская, 1976).

Вопрос о генезисе этих плащеобразных отложений остается дискуссионным. Наличие карбонатов в толще лессовидных суглинков в центре Русской равнины в настоящее время признается реликтовым признаком, обусловленным специфическими криоаридными условиями в период накопления этих отложений во время валдайского криохрона (Герасимов, 1976; Герасимов, Марков, 1939). Однако закономерности пространственной дифференциации данных отложений, причины сохранности в них карбонатных новообразований в условиях гумидного климата в научной литературе практически не освещены.

По данным геоморфологов, изучавших мощные толщи лессовидных образований (опорные разрезы позднего неоплейстоцена) на территории Ярославского Поволжья (Путеводитель экскурсии…, 1969; Разрезы отложений…, 1977; Судакова, Базилевская, 1976, Новский, 1975), карбонатность является неотъемлемым признаком этих образований. А.А. Завалишин (1947) указывает, что образование покровных суглинков должно было протекать в относительно засушливых условиях в присутствии извести.

Верхняя толща отложений, вне пределов современных процессов почвообразования, полностью выщелочена, в нижней части разрезов содержание карбонатов не превышает 2–5 % (Судакова, Базилевская, 1976). Сказанное свидетельствует об изначальной карбонатности всей толщи лессовидных отложений. Б.Б. Полыновым (1956) было показано, что криоаридные условия валдайского оледенения способствовали повсеместному закарбоначиванию суглинистой толщи в результате испарения грунтовых вод. По данным Н.А. Ногиной (1980), в пределах приледниковой зоны Русской равнины практически повсеместно встречаются разрезы, карбонаты в которых присутствуют. Автор указывает, что в прошлом некоторая

окарбоначенность этой группы почвообразующей породы была довольно широко распространена. Подтверждением этому является то обстоятельство, что на однородных геоморфологических поверхностях, в контактной полосе смешанных и широколиственных лесов, в непосредственной территориальной близости встречаются бескарбонатные и карбонатные покровные суглинки.

И.П. Герасимов (1959) полагал, что в плейстоцене в пределах перигляциальной зоны Европы были сформированы карбонатные лессовидные покровы, которые по мере усиления влажности в среднем голоцене были подвергнуты декальцинизации, в результате чего образовались двучленные покровные толщи, что позволило автору, в частности, выделять псевдоподзолистые почвы в качестве самостоятельной группы почв. Ранее Duchaufour Ph. (1951) и Jamagne (1973) также полагали, что покровные образования центральной Европы были также закарбоначены, и позднее, в условиях теплого гумидного климата оптимума голоцена происходило постепенное выщелачивание ранее карбонатных лессовидных суглинков (Ногина, 1980).

Карбонатные новообразования в карбонатных лессовидных суглинках представлены в виде дисперсной примеси, журавчиков, карбонатных трубочек и слабо сцементированных аморфных скоплений. По данным В.Д. Тонконогова (1999, 2010), среди покровных суглинков доля карбонатных лессовидных суглинков в пределах таежной зоны Европейской части России составляет 30 %. Однако автор указывает, что преимущественно карбонатные разновидности лессовидных пород сосредоточены в Предуралье, где их доля превышает 50 %.

Цель настоящей статьи – выявить генезис карбонатных лессовидных суглинков ближайшей перигляциальной зоны Русской равнины, рассмотреть такой природный феномен, как наличие педогенных карбонатов в покровно-суглинистой толще, что может существенно обогатить новым фактическим материалом некоторые аспекты эволюции почв и ландшафтов этой территории в позднем неоплейстоцене и голоцене.

Результаты и обсуждение. Исследованная территория практически полностью расположена в пределах Западно-Заволжской озерно-ледниковый равнины (в дальнейшем изложении – озерно-ледниковой равнины). Северная граница озерно-ледниковой равнины находится недалеко (130–170 км) от границы максимального продвижения поздненеоплейстоценового (осташковского) ледника.

Для выявления генетических особенностей почвообразующих пород, закономерностей пространственно-временной организации ПП проведены исследования на территории двух земельных массивов общей площадью 1466,9 км2, расположенных в основном в пределах озерно-ледниковой равнины на левобережье Волги от г. Калязина до впадения реки в Рыбинское водохранилище (рис. 1). Выбранные нами земельные массивы в административном отношении относятся к Некоузскому (северный массив) и Угличскому (южный массив) районам. Данный регион в литературе характеризуется как область сплошного распространения карбонатных лессовидных суглинков (Почвенный покров Нечерноземья…, 1986; Судакова, Базилевская, 1986).

Рельеф района исследования характеризуется ярусностью строения. I ярус охватывает поверхность с а.о. 102–112 м, отделяется от II яруса (а.о. 126–146 м) хорошо выраженным региональным уступом высотой 10–15 м. III ярус представлен поверхностями с а.о. 146–160 м и отделяется от II яруса размытым уступом. Выделенные поверхности в пределах ключевого участка имеют слабый уклон к северо-востоку (Рыбинское водохранилище) и востоку (долина р. Волги) (рис. 1).

I ярус рельефа выражен в пределах северного ключевого массива и включает в себя незатопленную водохранилищем часть Молого-Шекснинской низины, представленную низкими древнеозёрными террасами с а.о. 102–106 и 106–112 м, разделёнными невысоким уступом. Суммарная ширина площадок этих террас составляет 4–8 км, увеличиваясь до 10–12 км к юго-востоку (при впадении Волги в Рыбинское водохранилище). Здесь хорошо выражен грядово-потяжинный и криогенный бугорково-западинный микрорельеф.

II ярус рельефа является доминирующим (собственно поверхность озерно-ледниковой равнины) и состоит из древнеозерных террас с а.о. 126–136 и 136–146 м. Южный массив целиком расположен в пределах поверхности с низким гипсометрическим уровнем (рис. 1). В северной части ключевого участка ширина террасовых площадок варьирует в пределах 8–20 км. Террасовый уровень с а.о. 136–146 м в пределах изученной территории равнины протягивается вглубь до 40 км.

III ярус рельефа с а.о. 146–160 м является фрагментарным и представляет собой террасированную поверхность Овинищенской возвышенности, сопряженную с равниной.

Таким образом, рассматриваемая территория в пределах ключевого массива 3 отличается выровненной плоско-западинной поверхностью с преобладанием а.о. 125–135 м, что соответствует региональному уровню III позднеплейстоценовой террасы, на которой повсеместно развит реликтовый криогенный полигонально-блочный микрорельеф (Бердников, 1976).

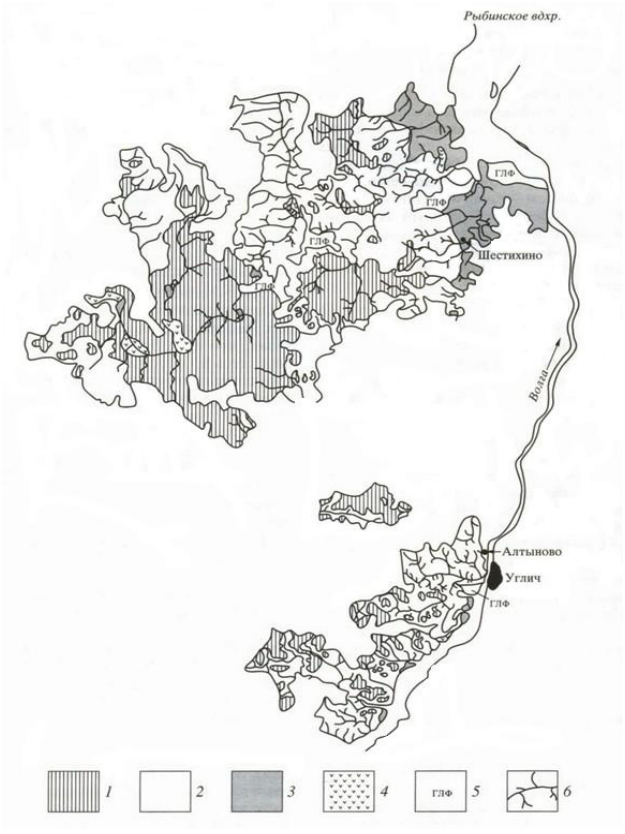


Рис. 1. Карта-схема почвообразующих пород ключевых участков Западно-заволжской озерно-ледниковой равнины: 1 – карбонатные лессовидные суглинки; 2 – бескарбонатные лессовидные суглинки; 3 – озерно-ледниковые пески и супеси; 4 – озерно-ледниковые пески и супеси, подстилаемые карбонатными лессовидными суглинками; 5 – Земли Гослесфонда; 6 – водотоки

Анализ составленной нами карты почвообразующих пород (рис. 1) показывает, что I ярус рельефа повсеместно сложен озерно-ледниковыми супесями. Доминирующими породами на остальной территории ключевого участка являются бескарбонатные и карбонатные лессовидные суглинки, встречающиеся как отдельными крупными массивами, так и в виде чередования отдельных ареалов (рис. 1). При этом возникает принципиальный вопрос о генезисе карбонатности (первичной или педогенной) этого типа безвалунных пылеватых пород, поскольку в случае их первичной и всеобщей карбонатности современному профилю текстурно-дифференцированных почв, по всей видимости, предшествовал профиль недифференцированной дерново-глееватой (глеевой) или дерново-карбонатной глееватой (глеевой) почвы. Поэтому в современных дерново-подзолистых почвах, развитых на карбонатных суглинках, могут быть записаны реликтовые признаки раннего голоцена или его более поздних этапов.

Для выявления количественных зависимостей пространственной дифференциации карбонатных лессовидных суглинков от геоморфологических параметров, нами в пределах ключевого участка был выбран северный массив, включающий все установленные сопряженные ярусы рельефа и весь спектр почвообразующих пород (рис. 1).

Критерием для отнесения лессовидных суглинков к разновидности карбонатных мы приняли наличие карбонатов в почвенном профиле и в верхней толще почвообразующей породы, как правило, не глубже двух м от поверхности.

В процессе многолетних полевых исследований почвенного покрова Ярославского Поволжья нами было отмечено локальное распространение карбонатных лессовидных суглинков и выявлена зависимость их встречаемости от конкретной ландшафтно-экологической обстановки (Русаков и др., 1995). Было установлено, что карбонатные новообразования обнаруживаются только при значительной (более 1 м) мощности покровносуглинистой толщи; чаще всего они встречаются на выположенных участках водоразделов, на перегибах пологих склонов и по озеровидным расширениям речных долин.

Разновидности лессовидных суглинков, содержащих педогенные карбонаты, получили наибольшее распространение в пределах озерно-ледниковых равнин и в восточной части Клинско-Дмитровской гряды (Владимирское ополье). Карбонатные новообразования представлены выцветами, карбонатным псевдомицелием, журавчиками, дутиками, конкрециями различного диаметра, что указывает на несомненно гидрогенно-аккумулятивные условия их формирования (Македонов, 1966; Зайдельман, Никифорова, 2001; Хохлова, 2008 и др.). В качестве примера приведем характерные карбонатные новообразования в виде мягких несегрегированных скоплений (зон) и сегрегированных образований в виде карбонатных жилок-трубочек в почвенной массе гидро-

морфных почв озерно-ледниковой равнины (рис. 2).

По Н.Г. Судаковой и Л.И. Базилевской (1976), в пределах Западно-Заволжской озерно-ледниковой равнины был сформирован комплекс высоких террас древнего приледникового Молого-Шекснинского озера, существовавшего в период максимума валдайского оледенения и на первых этапах его деградации (Квасов, 1974), являющегося звеном Великой приледниковой системы стока Северной Евразии (Гросвальд, Котляков, 1989). Следовательно, озерный генезис суглинков, которые мощной толщей (4–7 м) выполняют дно бывшего подпрудного приледникового бассейна, не вызывает сомнений.

Прямым подтверждением этому являются обнаруженные нами фрагменты раковин пресноводных моллюсков (рис. 3а). Последние повсеместно встречаются в толще суглинков на глубине 1,5–2,0 м зачастую в виде довольно больших скоплений (рис 3б). Нередко остатки фрагментов раковин встречаются в почвенном профиле, главным образом, в нижних горизонтах (рис. 3в-е).

По хорошо сохранившимся известковым створкам, взятым из почвенных разрезов, впоследствии на кафедре зоологии беспозвоночных СПбГУ фрагменты раковин были отнесены к представителям класса двустворчатых моллюсков (Bivalvia), к отряду Unionida – представитель Unio pictorum (перловица обыкновенная) и к отряду Venerida – представитель из семейства Dreissenidae, Dreissena sp. (дрейссена). Указанные моллюски обитают в мелководных (до 10 м) озерах и реках на медленном течении, образуют огромные скопления, т.е. ведут практически неподвижный образ жизни.

Радиоуглеродное датирование раковин моллюсков из горизонта BCgk полугидроморфной почвы, приуроченной к межблочному повышению (а.о. 140 м, II ярус) – 14300±160 (Ki-17061), свидетельствовало, что накопление пылевато-суглинистой толщи на территории озерно-ледниковой равнины началось после брянского мегаинтерстадиала (МИС2), т.е. с уверенностью можно утверждать, что плоская поверхность равнины практически одновозрастна и была экспонирована для процессов почвообразования сразу после спуска ППО, не раньше вепсовской стадии Валдайского оледенения и не позже беллинга.

Здесь необходимо отметить, что подобные включения раковин пресноводных двустворчатых моллюсков были обнаружены нами также в нижних горизонтах некоторых почв на карбонатных лессовидных (пылеватых) суглинках в пределах IV яруса рельефа Овинищенской возвышенности на поверхности с а.о. 163 м. Таким образом, нахождение раковин моллюсков на этом высоком гипсометрическом уровне маркирует донное положение подпрудных ледниковых озер в период максимума Валдайского оледенения.

Накопление суглинистой толщи на территории Западно-Заволжской озерно-ледниковой равнины началось после брянского интерстадиала, т.е. после средневалдайского оптимума позднеледниковья. Об этом свидетельствуют оторфованные и прогумусированные погребенные слои, описанные В.П. Бердниковым (1976), часто встречающиеся на озерно-ледни-

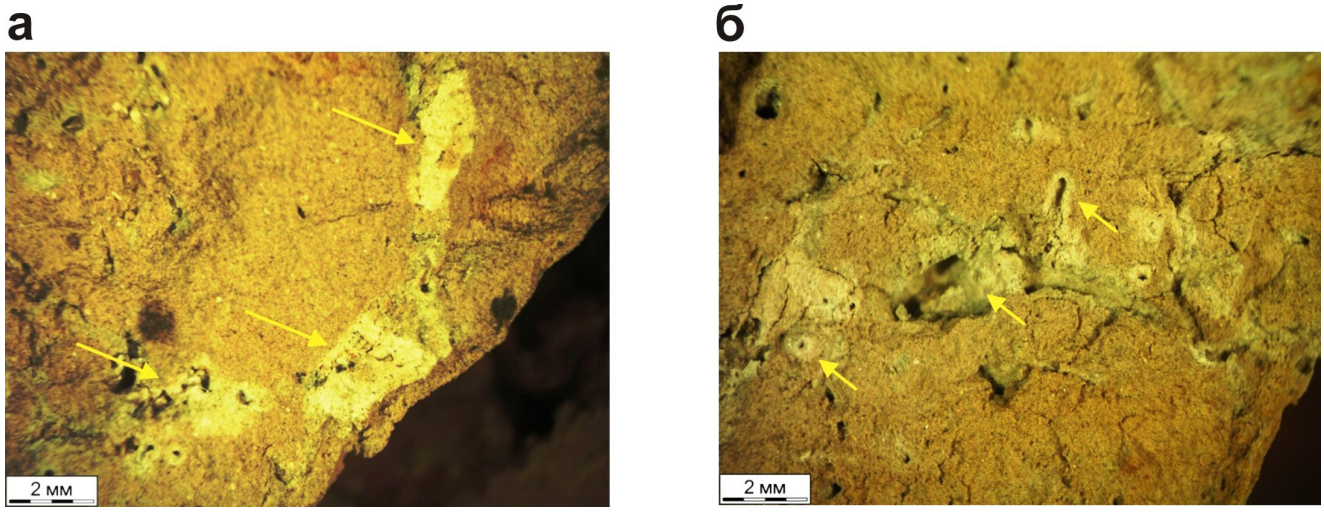


Рис. 2. Карбонатные новообразования (показаны стрелками) в виде несегрегированных скоплений (а) и сегрегированных образований в виде жилок-трубочек (б) в гор. BCk (114–135 см). Разрез 23Я-03 – агродерново-мелкоподзолистая почва на карбонатных лессовидных суглинках. Западно-Заволжская озерно-ледниковая равнина, а.о. 130 м.

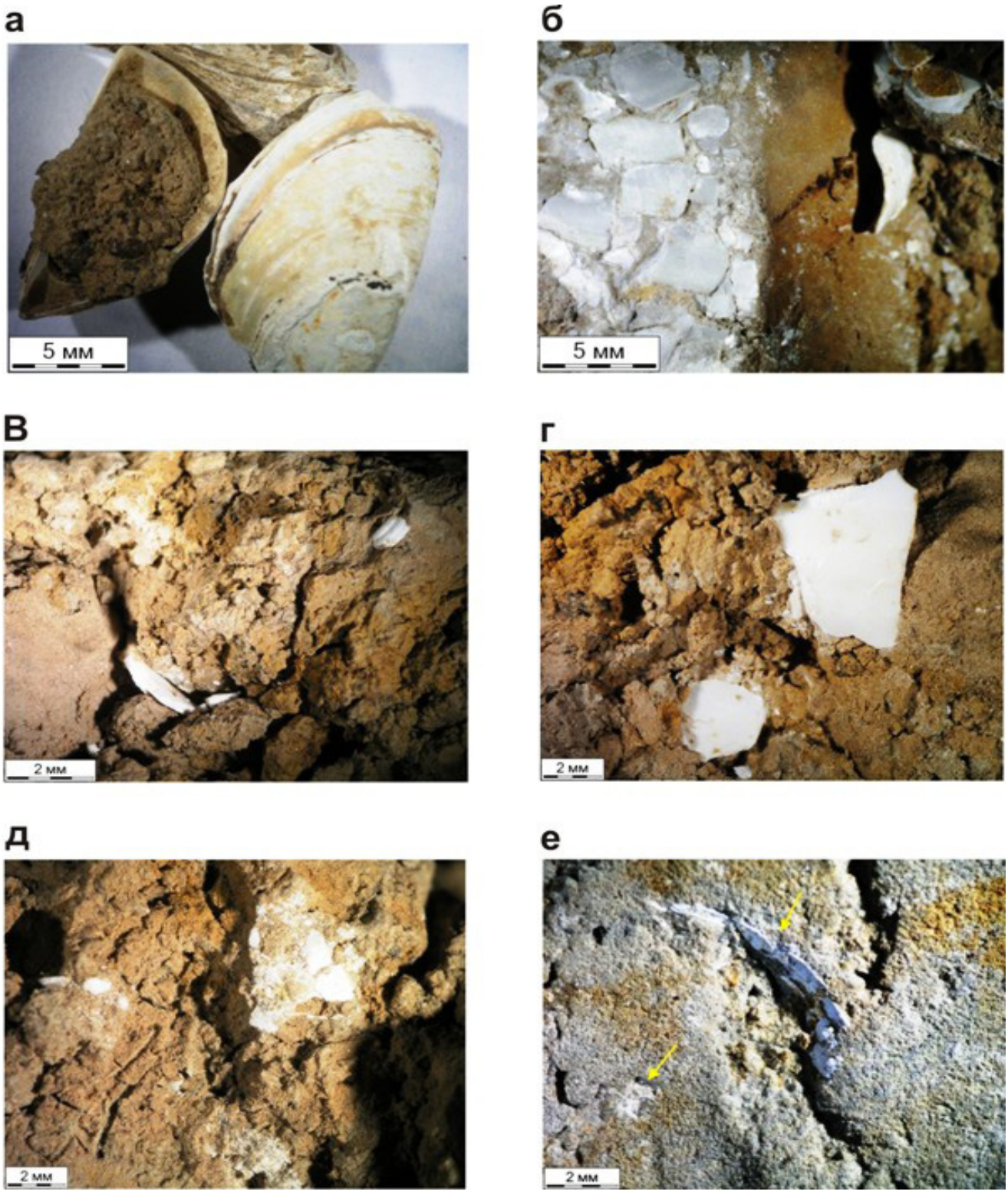


Рис. 3. Раковины пресноводных моллюсков, встречающихся в толще карбонатных лессовидных суглинков Западно-Заволжской озерно-ледниковой равнины (а,б), а также их фрагменты в нижних горизонтах полугидроморфных (в-д) и гидроморфных (е) почв.
Стрелками показаны мелкие фрагменты в профиле почвы

ковой равнине на значительной глубине и отделяющие лессовидные суглинки от московской морены. Погребенные слои имеют возраст около 40 тыс. лет (Арсланов и др., 1970).

С уверенностью можно утверждать, что поверхность данной территории практически одновозрастна и была экспонирована для процессов почвообразования сразу после спуска приледникового озера. Озерный бассейн перестал существовать здесь не раньше вепсовской стадии Валдайского оледенения и не позже беллинга (Квасов, 1974). Судя по тому, как ярко и повсеместно на левобережье Волги на территории Ярославского Поволжья выражен хорошо

сохранившийся криогенный полигональный микрорельеф, его формирование происходило в заключительные этапы отступания Валдайского ледника.

Эрозионная сеть, развитая на территории озерно-ледниковой равнины, имеет первичный характер. Анализ космических снимков территории показал, что врез овражно-балочной сети произошел здесь по крупным межблочным понижениям криогенных структур. Кроме того, наличие первичного вреза подтверждается отсутствием в долинах местных водотоков балочных террас, широко развитых в долинах на возвышенных территориях, не затоплявшихся во время максимума последнего оледенения (Керзум и др., 1989; Четвертичные отложения…, 1984). Началу формирования гидрографической сети и глубинному врезу синхронно возникновение процессов почвообразования.

Таким образом, изучаемый регион примечателен уникальной природной обстановкой, а именно – наличием одновозрастных поверхностей, что позволяет предполагать исходную сплошную закарбоначенность всей толщи лессовидного суглинка. В настоящее время эти поверхности различаются лишь степенью естественного дренажа. Исходная окарбоначенность грунтовой толщи на исследованной территории обязана озерному седиментогенезу и криоаридным условиям позднеледниковья.

Обратимся к внимательному анализу карты почвообразующих пород (без показа аллювиальных отложений) озерно-ледниковой равнины (рис. 1), составленной нами на основании крупномасштабных почвенных карт второго тура обследования (1984–1988 гг.). Как видно из рисунка, карбонатные лессовидные суглинки не составляют здесь сплошного массива и имеют очаговый характер распространения в пределах слабодренированных поверхностей междуречий и занимают 35,2 % обследованной территории и 54,2 % от площади бескарбонатных суглинков. Более значительные по площади массивы карбонатных пород расположены на севере, в пределах плоской заболоченной поверхности верхних течений рек Сити и Ильд.

Дренированные приречные массивы сложены, как правило, бескарбонатными лессовидными суглинками. К поверхностям низких (а.о. 105–120 м) I и II террас вдоль Волги приурочены тонкосортированные озерно-ледниковые пески и супеси. Кроме того, эти отложения отмечены в пределах древних озеровидных расширений долины р. Сить. Здесь же встречаются ареалы двучленных наносов: озерно-ледниковые пески, подстилаемые карбонатными, реже – бескарбонатными лессовидными суглинками.

Таким образом, картографические материалы отражают зависимость распространения карбонатных лессовидных суглинков от степени естественного дренирования поверхности. Гидрографическую сеть рассматриваемой территории составляют водотоки следующих порядков. Водоток I порядка представлен р. Волгой, II порядка – крупными реками, впадающими в Волгу и Рыбинское водохранилище, такими как Пукша, Корожечна, Сить, Сутка, Ильд. III порядок имеют более мелкие речки и крупные ручьи. IV порядок представлен короткими местными водотоками с невыработанным продольным профилем, а также овражно-балочная сеть. Крупномасштабная карта почвообразующих пород землепользования конкретного хозяйства (рис. 4) наглядно показывает приуроченность карбонатных лессовидных суглинков к слабодренированным поверхностям.

Для выявления количественных закономерностей пространственной дифференциации карбонатных лессовидных суглинков от конкретных ландшафтных условий вся исследованная площадь южного и северного массивов была разбита на 22 ключевых участка, каждый из которых представлял собой территорию землепользования хозяйств.

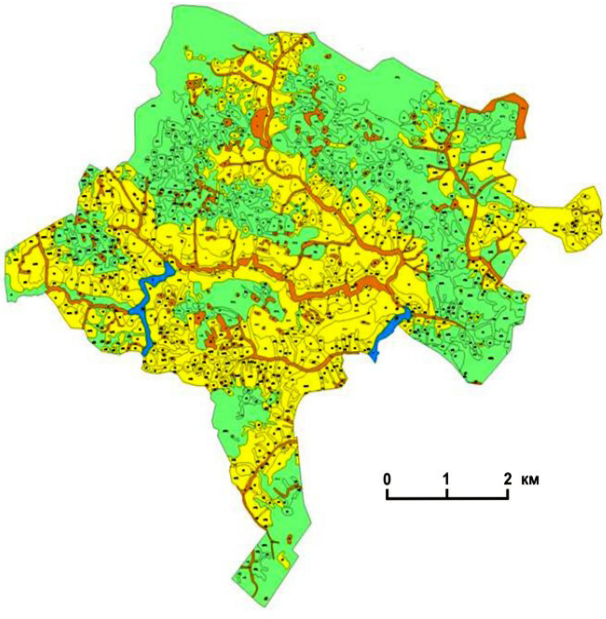


Рис. 4. Карта почвообразующих пород землепользования колхоза «Мир» Угличского района Ярославской области (южный массив). Желтым цветом обозначены бескарбонатные лессовидные суглинки, зеленым – карбонатные лессовидные суглинки, голубым – аллювиальные отложения, оранжевым – овражно-балочная сеть

Внутри каждого участка исследовалась зависимость карбонатности лессовидных суглинков (К), рассчитанная как относительная доля ареалов этих пород (в процентах от общей площади ключевого участка) от параметров, обусловленных особенностями геоморфологической динамики территории (табл. 1). Отметим, что степень карбонатности в пределах конкретных участков сильно варьирует: от полного отсутствия карбонатных отложений до почти полной «закарбоначенности», достигающей 96 %.

Ниже приводится перечень этих параметров.

1. Коэффициент заболоченности территории (КЗ), определяемый как удельный вес полугидроморфных и гидроморфных почв внутри ключевого участка, %.
2. Средний гипсометрический уровень поверхности участка (АО), м.
3. Густота гидрографической сети, представленной водотоками всех порядков (Д), км/км ^{2}.
4. Густота овражно-балочной сети, представленная водотоками IV порядка (ДIV), км/км ^{2}.
5. Перепад высот между максимальными и минимальными (глубина местного базиса эрозии (МБЭ) гипсометрическими уровнями внутри участка, м.
6. Средняя глубина вреза водотоков II порядка (ВВ II) внутри участка, м.
7. Доля почв овражно-балочного комплекса (ОБК), %.
8. Доля эродированных почв (Э), %.
9. Эрозионно-геоморфологический коэффициент (ЭГ) по С.И. Сильвестрову (1970).

Как видно из приведенного перечня параметров, шесть из них связаны непосредственно с анализом геоморфологической обстановки, а три изученных параметра отражаются опосредованно, через долевое участие отдельных групп почв в общем составе ПП участка.

В начале статистической обработки была рассчитана корреляционная зависимость, показывающая степень корреляции встречаемости (удельный вес ареалов) карбонатных лессовидных суглинков (в %) от изученных параметров (табл. 2). Установлено, что существует достоверная положительная средняя степень коррелятивной зависимости присутствия карбонатных отложений от степени заболоченности территории, гипсометрического уровня поверхности и отрицательная степень корреляции – с величиной перепада высот внутри участка, вреза водотоков II порядка и развития почв овражно-балочного комплекса. Иными словами, карбонатные лессовидные суглинки сохранились в условиях современного гидроморфизма территории, для которой характерны малый перепад высот, врез речных долин и слабое развитие эрозионной сети.

Для выявления внутренней структуры множества контролируемых параметров был применен анализ главных компонент и альтернативный непараметрический метод неметрического многомерного шкалирования. Собственно параметр К в модели не включали. Выявлены 2 главные компоненты с собственными значениями больше 1, берущие на себя 79,25 % общей вариабельности признаков. Первая главная компонента характеризует большую часть дисперсии (64,08 %) реальных параметров. Вторая главная компонента выражает наиболее значительную часть дисперсии, оставшейся после первой компоненты (15,17 %). Аналогично, две оси многомерного шкалирования, полученные на основе матрицы евклидовых дистанций между всеми парами ключевых участков, описывают в совокупности 79,28 % дисперсии. На первую ось приходится 65,88 %, а на вторую – 13,4 %. При исследовании отношений между параметрами относительно двух выделенных факторов были получены следующие факторные нагрузки (табл. 3).

Данные табл. 3 показывают, что два альтернативных способа построения моделей приводят практически к одному и тому же результату, что косвенно подтверждает устойчивость описываемых закономерностей изменчивости параметров. С первыми факторами обеих моделей обнаружена очень тесная положительная корреляционная связь следующих параметров: расчлененность территории гидрографической сетью всех порядков, наличие эродированных почв и почв овражно-балочного комплекса, врез водотоков II порядка и эрозионно-геоморфологический коэффициент. Умеренная и тесная отрицательная существенная связь обнаружена лишь для двух параметров (табл. 3): коэффициент заболоченности территории (КЗ) и средний гипсометрический уровень поверхности участка (АО). С первым фактором отрицательно коррелирует и интересующая нас степень карбонатности лессовидных суглинков (К) (отрицательная связь средней тесноты). Со второй главной компонентой коррелирует лишь один параметр – перепад высот внутри ключевого участка. Со второй осью многомерного шкалирования (D2) статистически значимо связаны три параметра: положительно – ко-

Таблица 1

Матрица зависимости степени карбонатности лессовидных суглинков ключевых участков (n = 22) озерно-ледниковой равнины от изученных параметров

К	КЗ	АО	Д	ДIV	МБЭ	ВВII	ОБК	Э	ЭГ
0,0	44,0	127	2,50	1,81	34,4	28	8,5	8,0	6,94
0,0	32,2	125	1,43	0,69	29,0	19	5,3	8,9	2,45
0,0	32,8	140	1,23	0,69	51,6	21	4,6	6,6	3,75
0,0	28,7	125	0,91	0,43	28,0	8	3,4	3,8	1,33
0,8	32,0	135	0,78	0,34	27,0	12	2,1	2,7	1,13
1,7	53,9	125	2,54	1,01	17,0	12	7,1	6,1	2,34
4,1	42,3	138	0,33	0,06	17,0	5	1,2	0,0	0,13
7,9	32,0	125	1,47	0,73	20,0	8	4,6	4,4	1,76
8,1	31,1	135	1,00	0,54	33,0	17	2,7	4,3	2,00
18,6	32,8	127	2,14	1,23	22,6	12	6,3	2,6	3,79
21,0	40,9	128	1,80	0,86	24,7	10	6,2	4,6	2,36
23,7	36,3	140	0,83	0,54	28,0	15	1,9	5,9	1,94
29,9	39,9	135	0,71	0,45	36,1	8	4,2	2,0	1,65
38,3	48,2	140	0,42	0,13	6,0	0	0,0	0,0	0,12
47,0	54,2	150	0,49	0,28	30,0	0	1,8	1,6	0,75
51,3	57,6	140	0,31	0,02	16,0	3	0,4	0,3	0,03
51,5	38,5	133	1,20	0,47	19,9	8	4,5	2,1	1,15
53,8	38,5	135	1,00	0,70	19,0	4	2,7	6,2	1,45
56,7	33,8	127	2,65	1,74	22,7	11	6,7	10,2	6,03
62,9	44,0	133	0,79	0,66	20,4	0	2,5	0,4	1,78
72,3	51,6	140	0,16	0,16	17,0	5	0,4	1,2	0,30
96,0	49,2	143	0,44	0,18	18,0	10	1,3	4,2	0,29

Таблица 2

Корреляционная зависимость (r) встречаемости карбонатных лессовидных суглинков от параметров по ключевым участкам (n = 22). Звездочкой отмечен достоверный уровень значимости (P)

Параметр	КЗ	АО	Д	ДIV	МБЭ	ВВII	ОБК	Э	ЭГ
R	0,51*	0,49*	–0,37	–0,25	–0,45*	–0,55*	–0,44	–0,27	–0,32
P	0,02	0,02	0,09	0,26	0,04	0,01	0,04	0,22	0,15

эффициент заболоченности территории (КЗ) и отрицательно – перепад высот внутри ключевого участка и средняя глубина вреза водотоков II порядка (ВВ II) внутри участка.

Качество рассмотренных моделей довольно высоко, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов детерминации зависимых параметров (табл. 3). Вместе с тем, выделенные факторы довольно слабо описывают степень карбонатности лессовидных суглинков. Это заставляет предположить наличие собственного для исследуемой переменной фактора. Для проверки этой гипотезы были построены аналогичные модели, в которые была включена и степень карбонатности. В этом случае число факторов увеличилось до трех, что подтверждает последнюю гипотезу. Факторные нагрузки приведены в табл. 4.

Анализ нагрузок и коэффициентов детерминации указывает на преимущества модели многомерного шкалирования при описании изменчивости степени карбонатности. Эта модель описывает 85 % дисперсии зависимой переменной, против 77 % в модели главных компонент.

Согласно результатам моделирования, сте-

Таблица 3

Факторные нагрузки (коэффициенты корреляции Пирсона) параметров на факторы, выделенные методом главных компонент (PC1, PC2) и неметрическим многомерным шкалированием (D1, D2) (n = 22). r^2 – доля дисперсии параметра, описываемая линейной комбинацией факторов (коэффициент детерминации). Звездочкой отмечены статистически значимые величины факторных нагрузок при p<0,05

Параметр	PC1	PC2	r2	D1	D2	r^2
К	–0.48*	0.26	0.30	–0,48*	0,23	0.28
КЗ	–0,52*	–0,41	0.44	–0,51*	0,45*	0.47
АО	–0,72*	0,39	0.69	–0,78*	–0,34	0.72
Д	0,92*	–0,35	0.96	0,93*	0,28	0.94
ДIV	0,92*	–0,25	0.91	0,93*	0,15	0.89
МБЭ	0,48*	0,80*	0.87	0,40	–0,77*	0.76
ВВII	0,78*	0,41	0.79	0,75*	–0,48*	0.79
ОБК	0,93*	–0,20	0.91	0,93*	0,14	0.89
Э	0,94*	0.12	0.71	0,81*	–0,23	0.71
ЭГ	0,93*	–0,05	0.86	0,92*	–0,08	0.86

Таблица 4

Факторные нагрузки (коэффициенты корреляции Пирсона) параметров на факторы, выделенные методом главных компонент (PC1, PC2, PC3) и неметрическим многомерным шкалированием (D1, D2, D3) (n = 22). r2 – доля дисперсии параметра, описываемая линейной комбинацией факторов (коэффициент детерминации). Звездочкой отмечены статистически значимые величины факторных нагрузок при p<0,05

Параметр	PC1	PC2	PC3	r2	D1	D2	D3	r2
К	0.48*	0.26	0.31	0.77	0.55*	–0.66*	–0.35	0.85
КЗ	0.52*	0.41	0.71*	0.69	0.52*	–0.58*	0.02	0.61
АО	0.73*	–0.40	0.48*	0.93	0.77*	0.07	–0.51*	0.85
Д	–0.92*	0.35	0.08	0.96	–0.92*	–0.31	0.11	0.95
ДIV	–0.92*	0.25	0.16	0.95	–0.91*	–0.31	–0.06	0.92
МБЭ	–0.48*	–0.80*	0.14	0.89	–0.44*	0.57*	–0.49*	0.76
ВВII	–0.78*	–0.42	0.13	0.82	–0.79*	0.29	–0.26	0.77
ОБК	–0.93*	0.20	0.05	0.91	–0.93*	–0.16	0.11	0.91
Э	–0.84*	–0.12	0.09	0.73	–0.81*	–0.08	–0.43*	0.85
ЭГ	–0.93*	0.01	0.22	0.92	–0.90*	0.13	0.22	0.88
Доля дисперсии, %	60,3	15,1	10,4		61,3	14,7	9,5	

пень карбонатности определяется 2–3 независимыми факторами. На рис. 5 представлен график распределения изученных параметров в пространстве главных компонент, и осей многомерного шкалирования, а на рис. 6 – соответствующая им классификация параметров, включая степень карбонатности.

К параметрам, устойчиво связанным со степенью карбонатности, относятся коэффициент заболоченности территории (КЗ) и средний гипсометрический уровень поверхности участка (АО). В рассматриваемом виде они описывают совместно около 33 % дисперсии степени карбонатности. Второй фактор связан с перепадом высот между максимальными и минимальными (глубина местного базиса эрозии (МБЭ) гипсометрическими уровнями внутри участка. МБЭ описывает около 20 % измен-

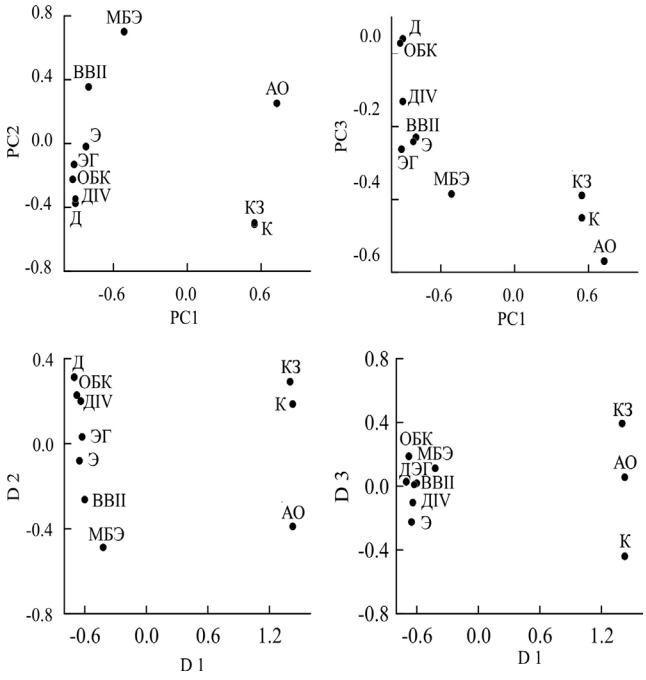


Рис. 5. График распределения изученных параметров в пространстве главных компонент (PC1–PC3) и осей многомерного шкалирования (D1–D3). Обозначения см. в тексте

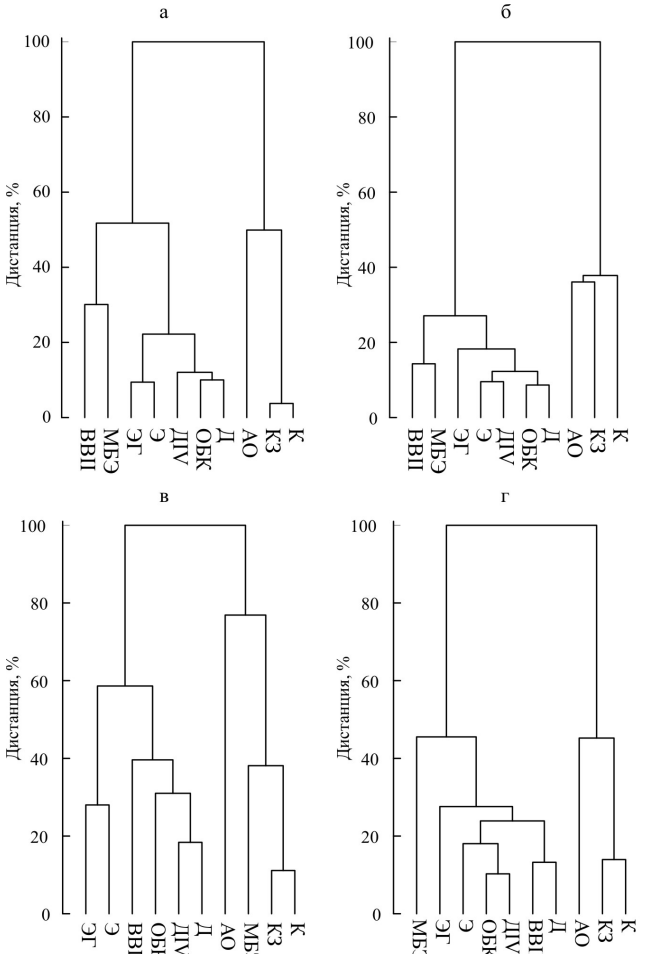


Рис. 6. UPGMA дендрограмма параметров изученных параметров, построенная на основе нагрузок на первые три главные компоненты (а, в) и три оси многомерного шкалирования (б,г) с учетом знака (а,б) и по абсолютным значениям (в,б,г). Обозначения см. в тексте

чивости степени карбонатности. Отметим, что параметры АО, КЗ и МБЭ являются сложными и воспроизводятся в моделях двумя–тремя независимыми факторами.

Конкретное наблюдаемое на площадке значение степени карбонатности, как следует из приведенного анализа, зависит от сочетания многих параметров. При этом изменчивость самих параметров носит сложный характер и включает, как правило, несколько независимых компонент. В силу этого только линейная комбинация факторов, выделенных в рамках формальной процедуры, а не исходные переменные, удовлетворительно описывают пространственное варьирование степени карбонатности. В свою очередь, это предполагает наличие общих для всех рассматриваемых параметров факторов. Следовательно, в будущем исследовании необходимо расширить перечень переменных, потенциально ответственных за наблюдаемую картину степени карбонатности и других связанных с ней параметров.

На современном уровне наших знаний можно считать статистически обоснованным, что выщелачивание карбонатов из верхней части лессовидной толщи в значительной степени контролируется степенью естественного дренажа. Таким образом, в условиях озерно-ледниковой равнины на практически одновозрастных поверхностях наблюдается разновозрастный эрозионный врез, формировавшийся на протяжении всего голоцена. В позднеледниковье и начальные этапы голоцена эрозионной сетью были освоены краевые части озерно-ледниковой равнины, приуроченные к долине Волги и формирующимся долинам крупных водотоков. Затем, пятящаяся эрозия поэтапно распространилась вглубь территории. В настоящее время лессовидная толща на уровнях, близких к местным базисам эрозии, полностью выщелочена от карбонатов (рис. 1, 4). Таким образом, наблюдаемая пространственная дифференциация карбонатных лессовидных суглинков отражает временную зависимость выщелачивания грунтов от степени их вовлечения в ход геоморфологической динамики, обусловленной естественным дренированием территории.

Условия естественного дренажа и степень выщелоченности лессовидных суглинков в пределах озерно-ледниковой равнины отражается в современной СПП. Анализ компонентного состава ПП участка, сформированного на

бескарбонатных суглинках, выявил значительное превышение площадей дерново-глубокоподзолистых почв и почв овражно-балочного комплекса по сравнению с ПП территории, сложенной карбонатными суглинками (табл. 5). Это свидетельствует об интенсивности процессов подзолообразования в выщелоченной от карбонатов толще, обусловленной степенью естественного дренажа. Отметим, что в пределах Ярославского Поволжья для дерново-подзолистых почв, приуроченных к поверхностям высоких (а.о. >150 м) водоразделов, характерно глубокое (иногда до 2 м) проникновение подзолистых языков (Русаков, 1993; Русаков и др., 2008). Анализ данных табл. 30 показывает также заметное преобладание дерново-мелкоподзолистых почв, развитых на карбонатных суглинках по сравнению с бескарбонатными, а также значительно более больший удельных вес дерновых заболоченных почв.

На карта-схеме почв, сгруппированных по степени естественного дренажа, на примере землепользования конкретного хозяйства, расположенного в пределах озерно-ледниковой равнины (рис. 7), видна хорошая сопряженность участков ПП по степени переувлажнения: гидроморфные почвы постепенно сменяются полугидроморфными и автоморфными по мере увеличения расчлененности территории овражно-балочной сетью и долинами небольших рек.

Наряду с изменением компонентного состава ПП, сформированного на карбонатных и бескарбонатных лессовидных суглинках, нами были получены количественные данные по изменению одного из важных параметров СПП – степени контрастности. Данные табл. 6 показывают уменьшение контрастности почвенного порова по всем составляющим контрастность параметрам (особенно по гидроморфизму) на территории, сложенной бескарбонатными суглинками, что вызвано усилением степени естественного дренажа, определяющего выще-

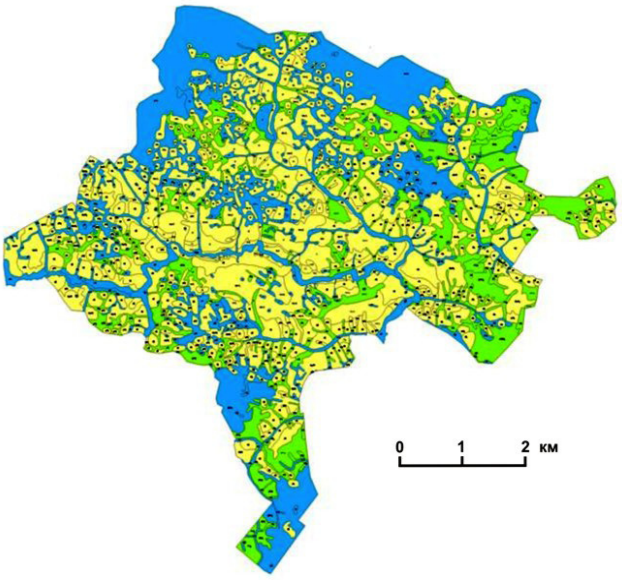


Рис. 7. Карта-схема переувлажненных почв землепользования колхоза «Мир» Угличского района Ярославской области (южный массив). Голубым цветом обозначены ареалы гидроморфных почв, зеленым – полугидроморфных, желтым – автоморфных.

лоченность суглинистой толщи. Отметим, что это явление характерно для территорий с незавершенным циклом эрозионного развития (Неуструев, 1977).

Рассмотрим некоторые свойства почв, сформированных на карбонатных лессовидных суглинках. В качестве примера приведены общие физико-химические свойства почв, резко различающихся по степени выщелоченности и дифференциации профиля: агродерново-глубокоподзолистые и дерново-глеевая (табл. 7). Разрезы были заложены во время крупномасштабного почвенного картирования 1988 г., индексация горизонтов приведена в соответствии с «Классификацией и диагностикой…» (1977). Почвы сформированы практически на одном гипсометрическом уровне (а.о. 130–135 м) в пределах II яруса рельефа. Данные табл. показывают, что карбонатный горизонт (сплошное бурное вскипание минеральной массы) в дер-

Таблица 5

Состав ПП (в процентах, средние данные по ключевым участкам) на карбонатных и бескарбонатных лессовидных суглинках, без учета аллювиальных почв

Суглинки	Индекс почвы*											
	$П_1^д$	$П_2^д$	$П_3^д$	$\sum П^д$	$П^{дэ}$	$П^{дг,Г}$	$Д^{г,Г}$	Бв	Бп	Бн	БиГ	ОБ
Карбонатные	8,6	36,5	5,9	51,0	1,9	29,0	9,4	0,5	0,7	2,1	4,9	0,5
Бескарбонатные	4,2	29,0	24,5	57,7	4,7	27,0	1,2	2,0	0,4	0,2	1,6	5,2

*Почвы: $П_1^д$ – дерново-мелкоподзолистые; $П_2^д$ – дерново-неглубокоподзолистые; $П_3^д$ – дерново-глубокоподзолистые; $\sum П^д$ – дерново-подзолистые (в сумме); $П^{дэ}$ – дерново-подзолистые эродированные; $П^{дг,Г}$ – дерново-подзолистые глееватые и глеевые; $Д^{г,Г}$ – дерново-глееватые и глеевые; Бв – болотные верховые; Бп – болотные переходные; Бн – болотные низинные; $Б^{иГ}$ – болотные низинные иловато-глеевые; ОБ – овражно-балочный комплекс.

Таблица 6

Контрастность ПП (средние данные по ключевым участкам) на карбонатных и бескарбонатных суглинках по методике Юодиса (1967)

Суглинки	Контрастность			
	по гидроморфизму	агропроизводственная	генетическая	суммарная
Карбонатные	14,2	12,7	11,5	38,4
Бескарбонатные	12,3	11,6	11,4	35,3

ново-подзолистых почвах располагается на глубине около 1,0 м, а в дерново-глеевой – около 0,5 м. Содержание CO2 карбонатов варьирует не в широких пределах и достигает максимального содержания (3,5 %) в гидроморфной почве. Несмотря на слабокислую и близкую к нейтральной реакцию среды, в профиле дерново-подзолистых почв сформирован элювиальный горизонт.

Данные гранулометрического состава (табл. 7) показывают отсутствие фракций крупного и среднего песка по профилю почв, заметное преобладание лессовидной фракции, обеднение тонкодисперсными фракциями элювиальной толщи дерново-подзолистых почв и накопление ила в иллювиальной толще по сравнению с карбонатными горизонтами.

В ходе статистической обработки степени дифференциации профилей почв по илу для дерново-глубокоподзолистых почв, развитых на карбонатных и бескарбонатных лессовидных суглинках, в зависимости от абсолютных отметок поверхности и удаленностью от ОЛ, получена достоверная положительная тесная корреляция между изученными параметрами (табл. 8).

Таким образом, несмотря на то, что в основном изученные дерново-подзолистые почвы приурочены к плоско-западинной поверхности II яруса рельефа, выявлено резкое усиление степени текстурной дифференциации профилей почв по мере освобождения поверхности от затопления подпрудными озерами (на это указывает также заметно большая степень корреляции параметров КД и L, табл. 8). Увеличение степени дифференциации профилей почв, очевидно, следовало вслед за усилением вреза местной гидрографической сети. Примечательно, что указанная закономерность выявлена для почв на суглинках, вне зависимости от степени карбонатности породы и подтверждает положение об изначальной карбонатности всей покровно-суглинистой толщи в пределах озерно-ледниковой равнины.

Таблица 8

Существенная зависимость между коэффициентом дифференциации (КД) почв на лессовидных суглинках по илу, гипсометрическим положением разрезов (АО) и удаленностью от ординарной линии (L)

Параметры, коэффициенты корреляции (r)			n	Sr	tr	t05
	АО	L				
КД	0,60		13	0,24	2,49	2,20
		0,67	13	0,22	2,99	2,20

Весьма важным является ответ на вопрос о характере и степени выщелоченности исходной карбонатной толщи и генетических особенностях организации профиля текстурно-дифференцированной почвы, особенно в случае наличия гор. А2, сформированной на карбонатных лессовидных суглинках. Для решения этой задачи нами проведена детальная микроморфологическая диагностика агродерново-глубокоподзолистой почвы на карбонатных суглинках (р. 223). Аналитическая характеристика почвы приведена в табл. 32. Необходимо отметить, что подзолистые языки в профиле этой почвы достигают глубины 71 см (гор. В2).

Анализ микроморфологического строения показывает, что в субэлювиальной толще почвы (гор. А2В) отчетливо присутствуют глинистая кутана иллювиирования, включенная в ВПМ (рис. 8а, б). Видно ее дробление и расслоение, что указывает на ранее существовавшую здесь активную фронтальную зону иллювиирования, нарушенную элювиальными процессами. Вместе с тем, здесь выявлено отсутствие глинистых натеков в современных порах. Это указывает на то, что фронт иллювиирования сместился в срединную толщу профиля.

В гор. В1 присутствуют также кутаны иллювиирования, включенные в минеральную массу, но, в отличие от гор. А2В, кутаны не находятся в раздробленном состоянии (рис. 44в,г). В общей минеральной основе этого горизонта имеются осветленные и обедненные тонкодисперсным веществом зоны, кроме это-

Таблица 7

Физико-химические свойства и гранулометрический состав почв (Западно-Заволжская озерно-ледниковая равнина)

№ разреза* ,а.о., м	Гори-зонт	Глубина, см	pHвод.	pHсол.	ГК	S	V	Гумус	CO2	Содержание фракций, %; размер частиц, мм						
					м-экв/100 г		%			1– 0,25	0, 25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
111,135	Апах	0–20	6,5	5,6	2,9	10,5	78	1,4	Не опр.	1	16	54	11	8	10	29
	А2	25–35	6,4	5,3	2,5	7,8	76	0,4	-«»-	0	11	54	8	7	20	35
	А2В	40–45	6,8	5,4	1,7	14,4	89	Не опр.	-«»-	0	4	48	12	16	20	48
	В	80–90	7,1	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	-«»-	-«»-	0	8	45	5	11	31	47
	ВСк	100–120	8,0	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	1,2	0	16	53	5	10	16	31
223,133	Апах	0–27	6,3	6,1	1,9	14,3	88	1,5	Не опр.	0	15	48	11	16	10	37
	А2	27–37	6,2	5,9	1,8	16,8	90	0,3	-«»-	0	15	51	13	17	4	34
	А2В	37–47	7,0	6,7	0,9	18,1	95	0,2	-«»-	0	10	45	12	15	20	45
	В1	55–65	7,2	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	-«»-	0	11	40	10	16	23	49
	В2	85–95	7,4	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	0	13	39	11	13	24	48
	ВСgк	100–120	8,2	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	2,4	0	13	45	3	22	17	42
349,130	А1g	0–24	6,4	6,3	1,1	20,3	95	14,2	Не опр.	0	6	63	12	8	11	31
	АВg	24–36	7,5	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	-«»-	0	2	56	12	20	10	42
	BGk	50–60	7,3	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	0,1	0	2	52	10	20	16	46
	BGk	75–85	7,8	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	-«»-	0,6	0	3	50	14	16	17	47
	Gk	90–100	7,8	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	3,5	0	14	44	6	4	22	32

Примечание. Звездочкой отмечены номера разрезов: 111 и 223 – агродерново-глубокоподзолистые на карбонатных лессовидных суглинках; 349 – дерново-глеевая на карбонатном лессовидном суглинке.

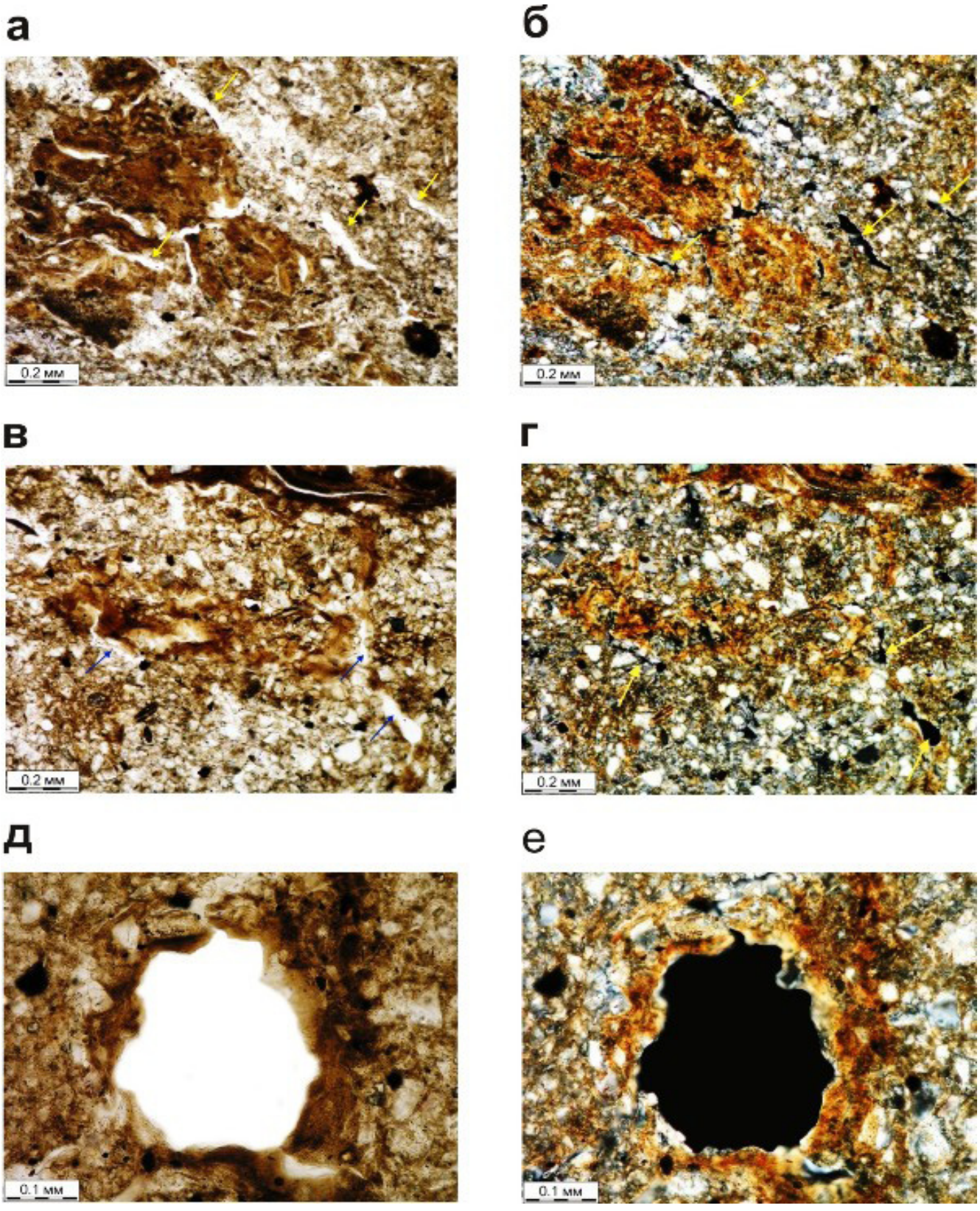


Рис. 8. Микроморфологическое строение агродерново-глубокоподзолистой почвы на карбонатных лессовидных суглинках, р. 223. а – гор. А2В (37–50 см), NII, б – то же, N+. Кутана иллювиирования, включенная в ВПМ. Стрелками обозначены поры, лишенные глинистых кутан; в – гор. В1 (50–71 см), NII, г – то же, N+. Кутаны иллювиирования включены в ВПМ и отсутствуют в порах (обозначены стрелками); д – гор. В2 (71–105 см), NII, б – то же, N+. Глинистая кутана, приуроченная к порам.

го – отсутствуют глинистые кутаны по стенкам пор.

В гор. B2 (71–105 см) данные микроморфологии свидетельствуют о нормальном протекании здесь процессов иллювиирования, кутаны практически отсутствуют в минеральной основе и приурочены к поровому пространству (рис. 8д, е).

В нижней части профиля, в карбонатном гор. BCgк (105–120 см) диагностированы явно педогенные карбонаты в виде пропитки микритом околопорового пространства. Этот процесс, по-видимому, не имеет тотального характера в пределах данной толщи разреза, поскольку наряду с порами, выполненными микрокристаллическим кальцитом, в этом горизонте встречаются поры, свободные от карбонатов (рис. 9а, б).

В карбонатном горизонте помимо пор, пространство вокруг которых пропитано микритом, встречаются такие же поры, стенки которых внутри выстланы глинистыми кутанами (рис. 9в, г), что явно указывает на вторичность передвижения тонкодисперсного (вероятно, в основном илистого) материала вглубь карбонатного горизонта поверх зоны, пропитанной микрокристаллическим кальцитом. Это свидетельствует об очень интенсивном проявлении иллювиирования, несмотря на общий карбонатный фон нижней части профиля почвы.

В гор. BCgк исследованного разреза выделяются также локальные зоны ВПМ, пропитанные педогенными карбонатами в виде микритовых стяжений неправильной формы (рис. 9д,е), что указывает на другой тип новообразований кальция в этом горизонте. В минеральной основе диагностированы также глинистые кутаны поверх крупных минеральных зерен (рис. 9д,е).

На рис. 9ж четко прослеживается присутствие в ВПМ зерен неправильной формы детритного (осадочного) обломочного карбонатного материала, имеющего размерность крупной пыли. По всей видимости, эти включения представляют собой микроостатки ракушечного материала, осаждавшегося вместе с пылеватой фракцией в процессе озерного седиментогенеза карбонатных лессовидных суглинков.

Таким образом, микроморфологическая диагностика агродерново-глубокоподзолистой почвы, сформированной на карбонатных лессовидных суглинках, позволила выявить очень сильный фронт иллювиирования глинистого материала в пределах иллювиальной толщи разреза и нижележащего карбонатного горизонта, опускающийся сразу вслед или синхронно выщелачиванию карбонатов из покровносуглинистой толщи. Это отражает наследованный характер текстурной дифференциации профиля по элювиально-иллювиальному типу и позволяет судить о средневременно́м (первые тысячи лет) проявлении зонального подзолообразовательного процесса в исходно окарбоначенной почвообразующей породе.

Заключение.

Карбонатные лессовидные суглинки на территории Ярославского Поволжья встречаются повсеместно на всех геоморфологических уровнях, где они приурочены к плоским слабодренированным поверхностям с малым развитием эрозионной сети и незначительным врезом речных долин, что отражается в современной структуре почвенного покрова.

Пространственная дифференциация карбонатных лессовидных суглинков отражает временную зависимость выщелачивания почвогрунтов от степени вовлечения их в ход геоморфологической динамики, обусловленной естественным дренированием территории. Показано, что чем менее дренирована территория, тем выше в профиле почв расположен карбонатный горизонт. Спорадическое распространение карбонатных лессовидных суглинков среди массивов бескарбонатных пород свидетельствует о вторичном характере закарбоначенности всей покровносуглинистой толщи в период аридных условий максимума валдайского криохрона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-04-00894а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арсланов Х.А., Бреслав С.Л., Громова Л.И. и др.* Новые данные о возрасте верхнеплейстоценовых отложений в Калининско-Ярославском Поволжье // ДАН СССР. 1970. Т. 195. № 5. С. 1159–1162.

2. *Бердников В.П.* Палеокриогенный микрорельеф центра Русской равнины. М.: Наука, 1976. 126 с.

3. *Герасимов И.П.* Генетические, географические и исторические проблемы современного почвообразования. М.: Наука, 1976. 298 с.

4. *Герасимов И.П.*, *Марков К.К.* Ледниковый период на территории СССР // Труды ин-та географии. М.-Л., 1939. Вып. 33. Изд. АН СССР. 462 с.

5. *Гросвальд М.Г., Котляков В.М.* Великая приледниковая система стока Северной

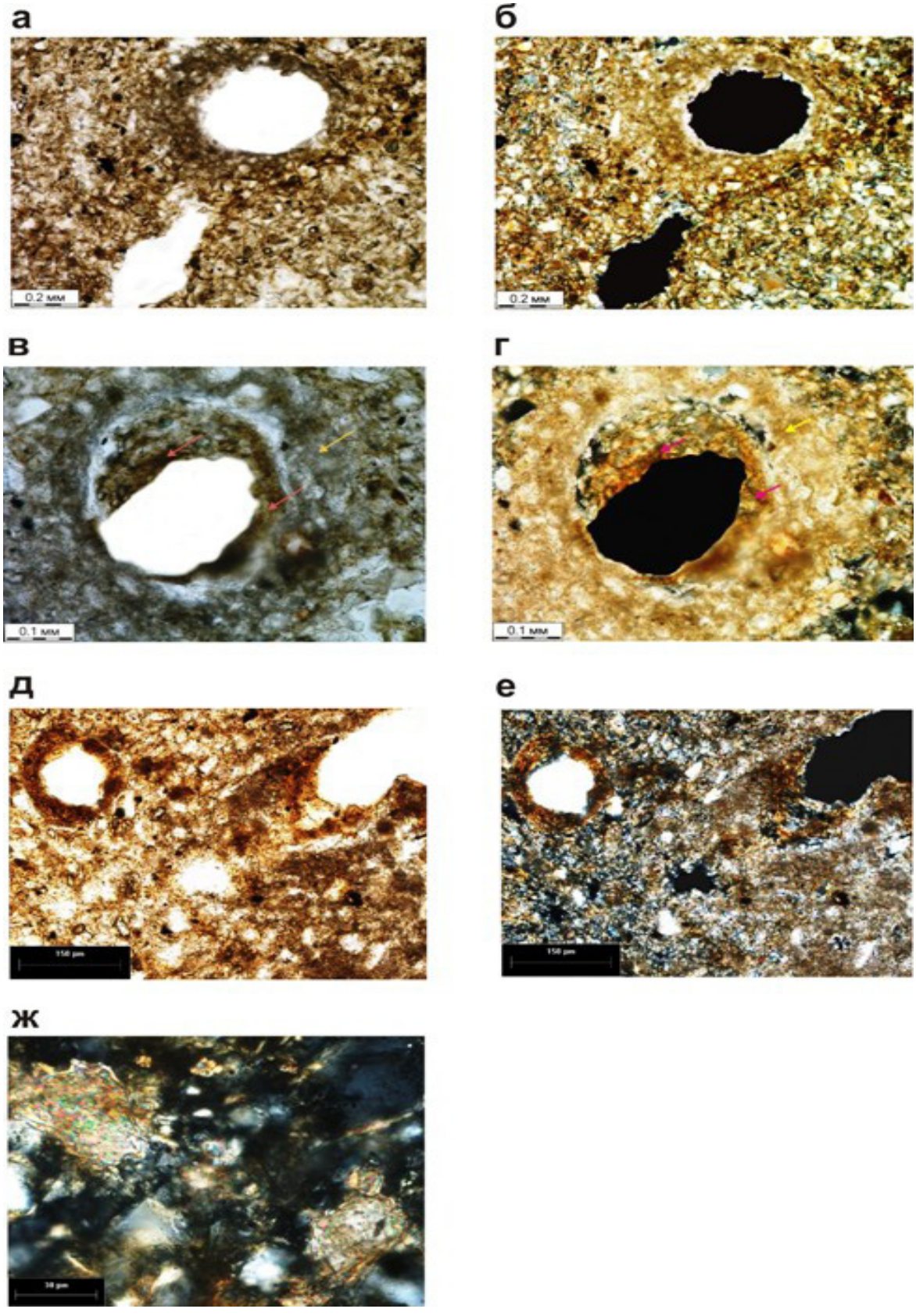


Рис. 9. Микроморфологическое строение агродерново-глубокоподзолистой почвы на карбонатных лессовидных суглинках, р. 223, гор. BCgк (105–120 см). а – пропитка микритом околопорового пространства (пора в верхней части рис.), NII, б – то же, N+; в – пора, пропитанная микритом (желтая стрелка), поверх которой глинистый натек (розовые стрелки), NII, г – то же, N+; д – зона микритовых стяжений в ВПМ (правый нижний угол рис.), глинистый натек вокруг минерального зерна (левый верхний угол рис.), NII, е – то же, N+; ж – детритный карбонатный материал в ВПМ, N+

Евразии и ее значение для межрегиональных корреляций // Четвертичный период. Палеогеография и литология. К 28 Международной конференции. Кишинев: Штиница, 1989. С. 5–13.

6. *Завалишин А.А.* Почвенный покров (Московской области) // Природа Москвы и Подмосковья. М., 1947.

7. *Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С.* Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: МГУ. 2001. 216 с.

8. *Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озёр и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 278 с.

9. *Керзум П.П., Русаков А.В., Матинян Н.Н.* Геоморфологическое положение палеопочв и некоторые аспекты эволюции почвенного покрова центра Русской равнины в голоцене // Почвоведение. 1989.№ 11. С. 28–35.

10. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. 223 с.

11. *Македонов А.В.* Современные конкреции в осадках и почвах. М.: Наука, 1966. 283 с.

12. *Неуструев С.С.* Почвы и циклы эрозии // Генезис и география почв. М.: Наука, 1966. 283 с.

13. *Новский В.А.* Плейстоцен Ярославского Поволжья. М.: Наука, 1975. 236 с.

14. *Ногина Н.А.* Условия почвообразования // Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР. Л.: Наука, 1980. 301 с.

15. Подзолистые почвы центральной и восточной частей Европейской территории СССР (на суглинистых почвообразующих породах). Л.: Наука, 1980. 304 с.

16. *Полынов Б.Б.* Кора выветривания // Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 103–255.

17. Почвенный покров Нечерноземья и его рациональное использование. М.: Наука, 1986. 245 с.

18. Разрезы отложений ледниковых районов центра Русской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1977. 195 с.

19. *Русаков А.В.* Закономерности формирования почвенного покрова центра Ярославского Поволжья: Автореф. дис. …канд. биол.н. М., 1993. 19 с.

20. *Русаков А.В., Керзум П.П., Матинян Н.Н.* Геоморфологическая дифференциация покровных суглинков центра Русской равнины и их генезис // Почвоведение. 1995. № 9. С.1082–1088.

21. *Русаков А.В., Керзум П.П., Матинян Н.Н.* Генезис пылеватых супесчано-суглинистых почвообразующих пород перигляциальной зоны северной части Русской равнины и свойства развитых на них почв // Почвоведение. 2008. № 4. С. 389–405.

22. Путеводитель экскурсии Москва–Верхняя Волга. Симопзиум «Палеогеография и перигляциальные условия плейстоцена». М., 1969. 70 с.

23. *Самойлова Е.М.* Почвообразующие породы. М.:Изд-во МГУ, 1983. 171 с.

24. *Сильвестров С.И.* Роль рельефа в развитии современной эрозии и борьба с нею // Современные экзогенные процессы рельефообразования. М.: Наука, 1970. С. 75–82.

25. *Судакова Н.Г., Базилевская Л.И.* Особенности лёссовидных образований Ярославского Поволжья // Изв. АН СССР Сер. геогр. 1976. № 5, С. 90–98.

26. *Тонконогов В.Д.* Глинисто-дифференцированные почвы европейской России. М.: Почв, ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 1999. 155 с.

27. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.

28. *Хохлова О.С.* Карбонатное состояние степных почв как индикатор и память их пространственно-временной изменчивости. Автореф. дис. …докт. геогр. н. М., 2008. 48 с.

29. Четвертичные отложения окрестностей г. Ростова-Ярославского. Путеводитель экскурсии 27-го Международного геологического конгресса. М., 1984. 26 с.

30. *Юодис Ю.К.* О структуре почвенного покрова Литовской ССР // Почвоведение. 1967. № 11. С. 50–55.

31. *Duchaufour Ph.* Lessivage et podzolization // Rev. Forest. Franc. 1951. № 10. pp. 31–43.

32. *Jamagne M.* Contribution á l'étude pédogénétique des formations loesiques du nord de la France. Paris, 1973.

THE GENESIS OF CALCAREOUS LOESSLIKE LOAMS IN THE WESTERN PART OF A VAST GLACIOLACUSTRINE PLAIN ON THE LEFT BANK OF THE VOLGA RIVER, SEDIMENTATION CONDITIONS, AND PROPERTIES OF SOILS DEVELOPED ON THEM

© 2016 A.V. Rusakov

Saint-Petersburg State University,
7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia
E-mail: a.rusakov@spbu.ru

The genesis of calcareous loesslike loams in the western part of a vast glaciolacustrine plain of the left bank of the Volga River (within Yaroslavl oblast) based on a detailed study of materials of large-scale soil mapping, analysis of the geomorphological area, and the morphological and chemical features of soils, is considered. Statistical data treatment proves that the distribution of this rocks is controlled by the degree of natural drainage of the territory and character of relief development in the Late Pleistocene and Holocene. In is shown that the origin of calcareous loesslike loams is intimately related to the evolution of the soil cover in periglacial regions of the Russian Plain.

Key words: calcareous loesslike loams; the periglacial regions of the Russian Plain; evolution of the soil cover

УДК 624.131:551.3

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ В РАЗРЕЗЕ ПОГРЕБЕННЫХ БОЛОТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

© 2016 Е.Г. Вержбицкая

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
199106, Санкт-Петербург, ВО, 22 линия, 1,
ekaterina_dem@mail.ru

Специфика инженерно-геологических условий в пределах Санкт-Петербурга определяется, в частности, широким развитием погребенных болот. Территория, в настоящее время занимаемая городом, была сильно заболочена, и в ходе инженерной подготовки районов, занятых болотными массивами, производилось захоронение болотных отложений под толщей техногенных образований, либо снятие болот малой мощности. Развитие и преобразование погребенных болот определяется комплексом природных и техногенных факторов и оказывает существенное влияние на формирование и изменение инженерно-геологических условий в подземном пространстве.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, погребенные болота, техногенные отложения, инженерная подготовка

План местности Санкт-Петербурга 1698 года отражает существование обширных болотных массивов на территории будущей столицы. Значительное по площади болото было в районе Лахты. На месте современной Выборгской стороны полоса болотных образований тянулась вдоль Большой Невки, примерно от современного Финляндского вокзала и далее на север и северо-восток, вдоль левого берега Черной речки. Обширные болотные массивы простирались на левом берегу Невы, начиная от ее излучины (в районе Смольного) и далее к югу (от Волкова кладбища); а на противоположном берегу болота располагались по берегам Охты, в районе шведской крепости Ниеншанц. На будущей Московской стороне болотный массив прослеживался примерно в районе нынешнего Московского парка Победы.

Болото под названием Козье располагалось на месте будущей Коломны — между Фонтанкой, Мойкой, Пряжкой и Крюковым каналом. Обширные болотные массивы простирались в излучине Невы, на Васильевском острове, близ Александро-Невской лавры. Во второй половине XVIII века путь от лавры до Фонтанки пролегал по глубокому торфяному болоту, часть которого в конце XIX века находилась в черте города и «сохраняла свой первобытный вид». К юго-востоку от Петербурга существовало обширное Глухозерское торфяное болото, которое в середине XIX века оказалось вблизи от Николаевского (современного Московского) вокзала [1].

На месте Сенной площади был заболоченный участок с редкими деревьями и кустарниками, вырубленными в 1737 году, после чего разрешили торговать на этом месте сеном и соломой. Болотистое редколесье покрывало нынешнюю Театральную площадь.

Необходимо упомянуть и другие крупные болотные массивы, долго сохранявшиеся в окрестностях столицы, к числу которых относятся Шушаровский, Шуваловский, Обуховский, Лахтинский, Левашовский (названные по их местоположению) [6].

В пределах территории, которую в настоящее время занимает Санкт-Петербург, были представлены основные типы болот. Верховые болота располагались в большинстве случаев на плоских водоразделах и достигали наибольшего развития в районах с бедными песчаными и супесчаными почвами. Одним из характерных примеров верховых болот на территории города стало Обуховское болото, которое размещалось в районе р. Мурзинки и согласно «Карте Санкт-Петербурга и его окрестностей

1684 года» занимало площадь порядка 160 га. Средняя мощность залежи торфа составляла 3,26 м, наибольшая достигала 6,38 м.

На островах дельты Невы преобладали болота низинного типа, которые преимущественно приурочены к территориям с низкими абсолютными отметками и высоким уровнем грунтовых вод.

В соответствии с подразделением болот на два основных типа, классифицируются и отдельные виды торфа, входящие в состав залежей. Для оценки физико-механических свойств торфяных отложений имеет значение не только состав растительных остатков в торфе, но и ряд других свойств, главнейшими из которых являются: степень разложения, влажность, химический состав, особенно содержание зольных веществ, углерода, серы, фосфора и др. Все эти показатели находятся между собой в тесной зависимости, причем определяющими можно считать ботанический состав и степень разложения.

Согласно анализу исторических документов, «борьба» с болотами началось одновременно с началом строительства города, так заболоченные участки осушались путем создания дренажных каналов, а затем производился подъем территории, для чего использовали загрязненные отложения, извлеченные при дноуглублении и расчистке малых рек, строительстве каналов и пр., которые в дальнейшем дополнительно уплотнялись в ходе строительных работ. Перед прокладкой улиц на болотистых участках сооружались осушительные канавы, затем, как предписывали строительные правила того времени, следовало настилать фашины (связки хвороста), поверх прокладывался круглый лес — бревна, которые в дальнейшем засыпались грунтом, взятым из осушительных канав, заключительным этапом являлось мощение камнем [1].

В период правления Екатерины II, при инженерной подготовке болотные отложения частично снимаются, и производится подъем территории с использованием песков различной крупности. Полное снятие болотных отложений проводилось только при их мощности, не превышающей 2-3 метра, одним из исключений служит болотный массив, располагавшийся на территории, которую в настоящее время занимает комплекс зданий Гостиного двора. Согласно исследованиям, мощность насыпных отложений на данном участке превышает 6 метров.

Большинство маломощных болотных отложений на территории Санкт-Петербурга было частично снято при освоении территории, при большей мощности болотных образований и заторфованных отложений они оказывались погребенными и продолжают жить, являясь наиболее активным геоэкологическим элементом подземной среды города.

Во второй половине XX века подъем территории города в прибрежной зоне Финского залива производился путем намыва без предварительного удаления болотных отложений. Для намыва использовались донные отложения Невской губы (загрязненные пески, супеси и в меньшей степени суглинки). При этом под слоем намывных образований были погребены не только торфа и заторфованные породы, но и старые хранилища хозяйственно-бытовых отходов, промышленные свалки и пр. Засыпан мелководный пролив между островами Декабристов и Вольный, которые были тем самым превращены в общий массив. Соединены также острова Гутуевский, Вольный и Большой Резвый, почти полностью намыта юго-восточная часть Невской губы. Подобное регулирование территории сопровождалось активизацией физико-химических и биохимических процессов в подземном пространстве города с выраженным негативным характером.

Необходимо отметить, что в разрезе Санкт-Петербурга погребенные торфяные образования залегают не только под техногенными отложениями, но и в озерных осадках, когда в период последней трансгресии образовались слои и линзы погребенных торфов, которые начали свое развитие в позднем голоцене. Вдоль Финского залива внутри отложений голоцена Балтийского моря встречаются линзы погребенного торфа мощностью до 6,0м.

Повсеместное присутствие прослоев и линз торфа, погребенных торфяников в разрезе предопределяет существование богатого природного биоценоза и является важным фактором в формировании физико-химических и биохимических условий обводненной толщи, а также формирования ряда опасных геологических процессов и явлений в подземном пространстве.

Захороненные болота служат основным источником обогащения органическими компонентами биотического и абиотического генезиса, нижележащих дисперсных пород при нисходящим потоке подземных вод. Увеличение бактериальной массы в глинистых грунтах под болотными отложениями, сопровождается снижением показателей сопротивления сдвигу, вплоть до их перехода в квазипластичное состояние. [3]

Под влиянием болотных отложений пески различного гранулометрического состава переходят в состояние плывунов в результате снижения их коэффициента фильтрации и водоотдачи, в процессе накопления органической компоненты, развития микроорганизмов и образования продуктов их метаболизма. [2]

Приведенные данные свидетельствуют о необходимости при наличии в разрезе погребенных болотных отложений уделить особое внимание инженерным изысканиям, выполняемых на соответствующих этапах освоения и использования территории: разработка градостроительной, предпроектной и проектной документации, строительство (реконструкция), эксплуатация и ликвидация (консервация) предприятий, зданий и сооружений.

Целесообразно использовать комплексный подход, реализуемый во взаимодействии между различными видами изысканий: инженерно-геодезическими, инженерно-геологическими, инженерно-геотехническими, инженерно-гидрометеорологическими и инженерно-экологическими.

Особое внимание следует уделить взаимодействию между инженерно-геологическими и инженерно-экологическими изысканиями. Проведение инженерно-экологических изысканий позволяет получить данные о химическом и радиоактивном загрязнении исследуемых территорий; объемы и состав выбросов специфических токсичных веществ вблизи расположенных предприятий; факты аварийного загрязнения; использование территорий под организованные и неорганизованные свалки, хранилища отходов и т.д. Что в свою очередь позволяет провести анализ и оценку контаминации подземного пространства и ее влияния на изменение физико-химических и биохимических условий в зоне воздействия захороненных болот, и рассмотреть трансформацию песчано-глинистых грунтов под болотными отложениями с учетом техногенных факторов, и дать прогнозную оценку их дальнейшего преобразования с учетом инженерной подготовки территории и последующего строительства и эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

Наиболее актуален такой подход при исследовании территорий, не только характеризующихся наличием погребенных торфов, но и высокой техногенной нагрузкой, такой как наличие в верхней части разреза свалочных масс, насыпных или намывных отложений.

В пределах городской инфраструктуры рассматривать погребенные болота следует с учетом наличия в верхней части разреза техногенных отложений, которые являются источником различных загрязнения и процессов, усугубляющих контаминацию и негативную трансформацию природной среды. При этом инженерно-экологические изыскания включающие радиационное обследование, эко-химическое обследование поверхности и на глубину с отбором проб грунтов на определение концентраций тяжелых металлов, органических загрязнителей и радионуклидов позволяют оценить глубину и пространственное положение зоны загрязнения, и сопоставить результаты анализа состояния и свойств грунтов с показателями загрязнения различными токсикантами.

В свою очередь намыв минерального грунта так же может послужить источником дополнительного поступления загрязняющих компонентов и микробиоты в торфяные грунты и подстилающие песчано-глинистые отложения, поскольку в большинстве случаев для этих целей используют загрязненные донные отложения.

Нельзя не учитывать и влияние торфа как биогенного грунта с высоким содержанием микробного компонента, способного за счет капиллярного поднятия проникать в вышележащие насыпные отложения с последующим их преобразованием в слабые неустойчивые разности, а, следовательно, и потерей своих функций как основания сооружений [5].

Захоронение болот и торфяников при инженерной подготовке и подъема территории городской инфраструктуры и их последующее загрязнение вызывает кардинальные изменения состава грунтовых вод, но и приводит к интенсификации процессов биохимического газообразования, в том числе генерации сероводорода, обычно не характерного для болотных систем. [4]

Особого внимания в зонах развития захороненных болот требует анализ коррозионного воздействия, повышения уровня агрессивности подземной среды по отношению к строительным материалам, используемым в подземных конструкциях и инженерных коммуникациях.

На основании вышеперечисленных факторов можно говорить о необходимости комплексного подхода для определения необходимых и достаточных видов и объемов исследований как для различных этапах освоения и использования территории, так и для различных видов изысканий с учетом специфики инженерно-геологических условий в пределах Санкт-Петербурга определяющихся широким развитием погребенных болот, влияющих на

трансформацию вмещающих песчано-глинистых пород и развитие физико-химических и биохимических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Г*орышина Т.К.* Зеленый мир старого Петербурга. Санкт-Петербург, «Искусство – СПб», 2003.

2. *Дашко Р.Э.* Микробиологический фактор в решении инженерно-геологических и геоэкологических проблем // В сб. научных трудов. Наука в Санкт-Петербургском государственном горном институте (ТУ), вып.2, СПб,1998.

3. *Дашко Р.Э., Норова Л.П.* Анализ геоэкологического состояния подземного пространства (ПП) исторического центра Санкт-Петербурга. Международный симпозиум «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий» «EngGeolCity-2001» Екатеринбург, Россия, 30 июля-2 августа 2001г.

4. *Дашко Р.Э., Волкова А.В., Захарова Е.Г.* Инженерно-геологический и геоэкологический анализ и оценка условий строительства и эксплуатации зданий и сооружений в историческом центре Санкт-Петербурга // Материалы годичной сессии Научного совета РАН «Сергеевские чтения», вып.5, ГЕОС, Москва, 2003 г.

5. *Захарова Е.Г.* Роль болотной микробиоты в изменении состояния и свойств песчано-глинистых отложений (на примере Санкт-Петербурга) // Записки горного института т.152 ч.1 СПГГИ, 2002 г.

6. *Мавродин В.В.* Основание Петербурга. Л., Лениздат, 1983, 232 с.

PECULIARITIES OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS EVALUATION FOR DESIGNING AND CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND FACILITIES IN THE SETTING OF BURIED SWAMPS PRESENCE IN THE GEOLOGICAL SECTION (EXAMPLE OF THE CITY OF ST. PETERSBURG)

© 2016 E.G. Verzhbitckaia

National mineral resources university (university of mines)
199106, St. Petersburg, V.O., 22 line, 1

Specificity of engineering-geological settings within the City of St. Petersburg is in particular determined by extensive development of burial swamps. The area now occupied by the city was heavily swamped. During the engineering preparation of areas occupied by bogs, the burial of marsh sediments under anthropogenic soils or removal of smaller thickness marshes were carried out. The development and transformation of buried bogs is determined by complex of natural and anthropogenic factors and has a significant influence to the formation and change of engineering-geological settings in the subsurface space.

Key words: engineering-geological settings, burial swamps, anthropogenic soils, engineering preparation

УДК 624.01; 502.3.7

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОПОЛИМЕРА «ГУТ» ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КОТЛОВАНОВ

© 2016 М.В. Кнтько*, Д.Ю. Здобин, С.Ю. Жабриков***

**ООО «НТЦ»Технологии XXI века», Лермонтовский пр., 7 лит.А, г. Санкт-Петербург, 190068, Россия, office@nw-tech.ru*
*** Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, Университетская наб. 7/9, Санкт-Петербург, Россия.*
zdobin_soil@mail.ru

В статье рассмотрен пример возведения пространственной несущей конструкции (ПНК), выполняющей функции ограждающей конструкции котлована, из геополимера ГУТ, полученного при реализации ИММ-технологии с использованием загрязненных грунтов. Выполнено технико-экономическое сравнение строительства ограждения котлована буросекущимися сваями и ПНК в инженерно-геологических условиях, обусловленных присутствием слабых грунтов на глубине, превышающей глубину котлована. Показан значительный положительный экономический эффект применения геополимеров в сравнении с традиционным методом ограждения котлована буросекущимися сваями.

Ключевые слова: интеграционная минерально-матричная технология, геополимеры, геоэкологическое проектирование, ограждающие конструкции котлованов.

Предисловие. В современных условиях роста крупных городов России, в том числе Санкт-Петербурга, имеет важное значение развитие методов комплексного освоения нарушенных и ранее не вовлекаемых, ввиду экономической нецелесообразности, внутригородских территорий. К ним относятся территории промышленных предприятий, полигонов хранения промышленных и бытовых отходов, а также территории, сложность освоения которых обусловлена особенностями геологического сложения или гидрогеологического режима. Как правило, подобные участки находятся в условиях уже сформировавшейся городской застройки, и окружены зданиями, сооружениями, подземными коммуникациями, дорогами и объектами благоустройства. Возведение новых объектов на этих участках диктует необходимость минимизации негативного влияния от производства строительных работ на существующие объекты и геоэкологическую городскую среду в целом. В случае жилищного строительства, дополнительным фактором выступает несоответствие расположенных на застраиваемом участке подстилающих грунтов санитарно-эпидемиологическим нормам, что, зачастую, приводит к необходимости их замены. Данное обстоятельство особенно актуально при освоении территорий бывших промышленных кластеров, золоотвалов и полигонов ТКО. Учитывая сложившуюся за последние четверть века тенденцию роста средней величины заглубления подземной части сооружений с 3 до 6 метров, освоение внутригородских территорий приводит к образованию значительного объема грунтов, часто относящихся к категории особо- и чрезвычайно опасных, которые подлежат вывозу на специализированные полигоны хранения строительных отходов или полигоны ТКО. Наряду с вывозом грунтов, работы по инженерной подготовке территории, включая рекультивацию и благоустройство участка, требуют завоза на строительную площадку значительных объемов материалов, в том числе инертных. Сокращение количества вывозимых грунтов за счет их in-situ переработки в геополимеры, пригодные для замены ими завозимых строительных материалов, позволяет сократить объемы закупаемых строительных материалов и исключить логистическую составляющую. В конечном итоге это приводит к уменьшению финансовых затрат на производство строительных работ в целом. Получаемый при реализации интеграционной минерально-матричной технологии (ИММ-технологии) геополимер, получивший название «грунт укрепленный техногенный» или сокращенно ГУТ, производится с использованием загрязненных грунтов, предназначенных к вывозу и может служить заменой традиционных инертных материалов в основании площадок, внутриквартальных проездов, при обустройстве днища и

бортов котлована, при подготовке основания для прокладки инженерных сетей, а также может заменять бетон и изделия из него, для сооружения конструктивных элементов при инженерной подготовке участка [1]. Применение грунта укрепленного техногенного для создания ограждающих конструкций котлована, как одна из возможных областей применения ИММ-технологии при проведении строительных работ рассмотрена ниже.

Выбор конструктивного решения ограждения котлована в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Одной из главных инженерно-геологических особенностей территории Санкт-Петербурга является мощная толща пылевато-глинистых лужских озерно-ледниковых отложений (QIII lgIII lz), максимальное развитие получившая в северной части города.

Лужские озерно-ледниковые отложения залегают на одноименных отложениях морены. Озерно-ледниковые слои представлены несколькими литологическими разновидностями, из которых наибольшее распространение имеют отложения приледниковых озер, сформировавшихся в период таяния ледника, а также отложения внутриледниковых озер, слагающих камовые гряды. Мощности их разнообразны: от 4 до 20 м., возрастают до 40 м. в камовых массивах Юкковской, Токсовской и Колтушской возвышенностей. Это преимущественно пески мелкие и пылеватые, с линзами крупных и гравелистых песков, супесей и суглинков. Связанные грунты имеют подчиненное значение. Среди них преобладают супеси пылеватые серые, содержащие прослои и линзы песков, реже суглинков текучепластичных. Включения гравия отсутствуют или незначительны (до 3%).

Строительство котлована глубиной 6 и более метров в условиях слабых водонасыщенных тиксотропных грунтов связано с необходимостью значительной развальцовки бортов котлована, что приводит к значительному увеличению площади участка строительства. Кроме того, строительство котлована в таких грунтах сопряжено с опасностью образования выпора грунтов, оползней, а также к подвижке грунтов на значительных расстояниях от зоны строительства. В связи с этим, строительство котлована в условиях слабых грунтов, особенно в условиях существующей застройки, должно производиться под защитой ограждающей конструкции. Вид ограждающей конструкции котлована определяется инженерно-геологическими условиями, гидрорежимом территории, глубиной выемки, режимом его использования и характером прилегающей местности. Ограждение котлована должно эффективно решать четыре основные задачи: воспринимать боковое давление грунта, выполнять функции противофильтрационной завесы, воспринимать гидростатическое давление подземных вод и, при необходимости, воспринимать вертикальные нагрузки. При строительстве на территории, сложенной загрязненными грунтами, ограждающая конструкция должна выполнять дополнительную функцию - химического экрана. Наиболее применимые ограждающие конструкции для строительства котлованов с глубиной 6 и более метров в условиях слабых грунтов с мощностью 15 и более метров: с использованием буросекущихся свай и методом «стена в грунте». Применение для ограждения котлована метода «стена в грунте» позволяет заменить в конструкции железобетон на геополимер ГУТ, изготовленный по ИММ-технологии с использованием предназначенных к вывозу местных грунтов, в т.ч. загрязненных.

Научной основой производства геополимера ГУТ является теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных минеральных средах, основанная на минерально-генетической концепции и теории оптимальных механических смесей (конгломератов), отличающихся повышенной плотностью, пониженной пористостью и, в результате этого, улучшенными прочностными и другими свойствами [2].

ГУТ получают путем смешивания грунтов определенного состава с цементом и минеральной комплексообразующей добавкой (МКД) [5]. МКД представляет собой порошковую смесь на основе гидролизованных микродисперсных кальцинированных алюмосиликатов, гипосульфидных ионных комплексов, солей щелочноземельных элементов, оксидов и карбонатов кальция и магния, углеродных микродисперсных сорбентов. Состав грунтов, используемых для производства ГУТ, определяется имеющимися местными грунтами, гранулометрический состав которых корректируется добавлением глинистых грунтов и песков. В эти грунты могут добавляться также и строительные отходы.

Грунт укрепленный техногенный, в проектном возрасте (на 28 сутки), имеет следующие физико-механические характеристики: плотность ρ = 2,0–2,1 т/м3; прочность на осевое сжатие R = 20–30 кгс/см2; коэффициент фильтрации kf не более 10-4 м/сут; коэффициент водоустойчивости более 0,7; морозостойкость класса F5 [3].

Одним из достоинств ИММ-технологии получения геополимеров является простота воплощения, позволяющая реализовывать ее с помощью стандартной общестроительной техники и навесного оборудования к ней, непосредственно на месте проведения работ (in-situ). При этом, в товарно-материальный оборот максимально интегрируются местные глинистые грунты, а также загрязненные грунты IV класса опасности и строительные отходы, предназначенные к вывозу на специализированные полигоны хранения. Смешивание грунтов с цементом М400 и МКД может осуществляться навесным оборудованием экскаватора типа «ковш-смеситель» (например, ковш-смеситель фирмы Simex серии CB или CBE). Время смешивания выбирается исходя из необходимых и достаточных условий достижения приемлемой гомогенности смеси (т.е. отсутствие комков грунта более 5 мм и равномерное распределение сухих компонентов). Производительность смешивания достигает 40-50 м3/час смеси в рыхлом теле. После этого, приготовленный ГУТ размещается в отвале, откуда в последствии доставляется к месту укладки. Для смешивания грунтов с реагентами могут применяться также грунтовые фрезы (например, прицепная грунтовая горизонтальная фреза фирмы НПФ «Бастион», г. Санкт-Петербург). В этом случае смешивание грунтов осуществляется на специально подготовленной площадке, на которой устраивают слоистую структуру из грунта и реагентов в нужной пропорции. Проходка по такой слоистой структуре грунтовой фрезы позволяет получить смесь нужного качества с производительностью 800 м^3/час смеси в рыхлом теле. Готовая смесь средствами малой механизации собирается с площадки в отвал и доставляется по мере необходимости к месту укладки [4].

Для сооружения ограждающих конструкций котлованов методом «стена в грунте» с использованием ГУТ перед строительством котлована отрывают траншею нужной ширины, например, под защитой многоразовой опускной опалубки (например, специализированная многоразовая опалубка на основе Крепи «SBH 750»).Откопка траншеи производится путем извлечения грунта между щитами опалубки с помощью экскаватора. По мере извлечения грунта опалубка опускается до проектной отметки. Использование многоразовой опускной опалубки позволяет создавать траншеи глубиной до 10 м. Тампонирование прорывов воды и суффозии грунтов осуществляется заранее приготовленной смесью грунтов. Для строительства стены в грунте в подготовленную траншею под защитой опалубки насыпают слой смеси толщиной 300 - 500 мм, приподнимали на высоту слоя опалубку и осуществляли виброуплотнение слоя. При виброуплотнении грунтовая смесь заполняла пространство освобожденное опалубкой, создавая слой ГУТ с заданными характеристиками. Операцию повторяли до полного заполнения траншеи. В зависимости от влажности грунтовой смеси добавляли воду. По мере строительства стены контролировали степень уплотнения слоя и соответствие его состава проектному.

Для сравнения технико-экономических показателей сооружения ограждающей конструкции котлована методом буросекущихся свай и методом стена в грунте с применением ГУТ можно рассмотреть два проектных решения ограждения котлована вдоль улиц Подвойского и Нерченской в Невском районе Санкт-Петербурга. В непосредственной близи к указанным дорогам должна была быть произведена выемка грунтов до глубин 6-10 метров при производстве работ по рекультивации территории золоотвала одной из ТЭЦ в г. Санкт-Петербурге. В теле дорог проложены инженерные коммуникации.

В геологическом строении участок производства работ в пределах глубины бурения, составляющей 42 м, представлял собой техногенные отложения (tg IV), морские и озерные (ml IV), озерно-ледниковые отложения Балтийского ледникового озера (lg III b) и лужского стадиала (lg III lz), лужские (g III lz) и московские (g II ms) ледниковые, разделенные озерно-ледниковыми отложениями (lg II ms) [6]. Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов приведены в таблице 1.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория характеризовалась наличием грунтовых вод типа «верховодка», грунтовых вод со свободной поверхностью и напорных вод.

Численный расчет конструкции первого типа производился методом конечных элементов с помощью программы PLAXIS 8.2, при этом расчетная схема представлялась в плоской постановке, так как жесткость стены в горизонтальной плоскости существенно не влияет на ее устойчивость в вертикальной плоскости. Нижняя несжимаемая граница основания (с модулем деформации 35 МПа) была принята на глубине 40 м. ниже поверхности земли, а процесс устройства котлована рассматривался как двухэтапный: устройство ограждающей конструкции и последующая разработка кот-

Таблица 1.

Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов.

Мощность слоя,м.	Геологический индекс	Номенклатурное наименование грунтов	Число пластичности I_p	Природная Влажность W	Плотность грунта, г, т/м^3	Коэф. пористости ,е	Показатели консистенции		Показатели прочности		Модуль деформации
							IL	CB	E, кг/см^2	c,кг/см^2	E, кг/см^2
6,3.	tg IV	Насыпные грунты: пески средней крупности	Расчетное сопротивление R0=1.0кг/см^2								
	tg IV	Насыпные грунты: супеси, суглинки пески со строительным мусором с обломками кирпичей, древесины со щебнем	Расчетное сопротивление R0=0.6-0.8кг/см^2								
	tg IV	Насыпные грунты: кембрийские глины с обломками и щебнем кирпича, древесины	Расчетное сопротивление R0=0.5-0.6 кг/см^2								
	tg IV	Гидрозола черная насыщенная водой с включением грубообломочного материала	-	0,54	1,52	1,060	-	-	12	0,00	25-30
2,8.	m,l IV	Суглинки легкие песчанистые серые с прослоями песка с редкими растительными остатками текучепластичные (по Св мягкопластичные)	0,08	0,29	1,85	0,948	0,82	0,39	10	0,10	70
	m,l IV	Суглинки легкие пылеватые серые с растительными остатками текучепластичные (по Св мягкопластичные)	0,11	0,45	1,73	1,223	0,86	0,47	9	0,08	50
	m,l IV	Торфы коричневые насыщенные водой	-	3,65	1,13	6,301	-	-	4	0,05	10
	m,l IV	Слабозаторфованные грунты коричневые насыщенные водой	-	1,39	1,18	3,694	-	-	6	0,06	20
7,5.	lg III b	Суглинки тяжелые пылеватые коричневые ленточные текучепластичные (по Св мягкопластичные)	0,12	0,37	1,85	1,023	0,99	0,48	9	0,08	60
2,9	lg III b	Суглинки легкие пылеватые серые слоистые текучепластичные	0,10	0,29	1,94	0,785	0,82	0,48	9	0,08	60
	lg III lz	Супеси пылеватые серые с прослоями песка пластичные	0,06	0,22	2,04	0,611	0,76	0,30	17	0,10	80
2,7	lg III lz	Пески пылеватые с прослоями супеси плотные насыщенны водой			2,07	0,550			30	0,04	180
	lg III lz	Пески пылеватые плотные насыщенные водой			2,10	0,500			31	0,05	210
5,3	lg III b	Супеси пылеватые серые с гравием, галькой гнездами песка и прослоями песка твердые (по Св полутвердые)	0,06	0,16	2,17	0,421	-0,15	-0,12	30	0,26	200

лована. Конструкция моделировалась с помощью стержня характеризуемого жесткостными параметрами: продольной жесткостью - EI, поперечной жесткостью - EA, и коэффициентом Пуассона - υ. Взаимодействие между стенкой и грунтом моделировалось с помощью интерфейсов. Анкерная тяга моделировалась как пружинный элемент, характеристикой которого является нормальная жесткость EA. Анкерная тяга представляет собой пружину, один конец которой жестко защемлен в ростверке подпорной стены, а второй жестко закреплен с анкерной сваей. Грунт задавался упругопластической моделью Мора-Кулона, характеризуемой прочностными и деформационными характеристиками φ, c, E, υ , основанными на данных отчета инженерно-геологических изысканий. Поверочный расчет на устойчивость проводился методом Э. К. Якоби, предпосылкой которого является заделка стены в водоупорный слой и защемление верхнего конца от перемещения с помощью анкерной тяги. При выполнении этих условий обеспечивается статическое равновесие конструкции против опрокидывания. Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Сравнение результатов численного и аналитического расчетов.

Метод расчета и относительная разница, %	Продольное усилие в анкерной тяге, кН	Максимальный изгибающий момент в свае, кН.м
Численный расчет с помощью программы PLAXIS 8.2	148	638
Аналитический расчет	176	643
Относительная разница результатов, %	16,0	1,0

Геометрические параметры и характеристики материалов ограждающей конструкции первого типа, полученные по результатам выполненных численного и аналитического расчетов представлены на рисунке 1 и в таблице 3.

Аналитический расчет ограждающей конструкции второго типа производился с использованием метода Ш. Кулона. Внешняя стена конструкции делилась на две составляющие: верхняя часть, не имеющая подпирающей реберной конструкции, и нижняя часть, являющаяся частью сотовой структуры. Сотовая структура заполнялась ГУТ при производстве работ, перед обратной засыпкой пространства, образующегося при выборке зольного грунта. Работы производились по захваткам длинной 16 м. Верхняя часть конструкции имела вероятность слома на абс. отметке 8.0 м. и последующего опрокидывания. Нижняя часть - изгибание внутрь конструкции под массой внешнего грунта в момент выборки грунта в пространстве сотовой структуры. В связи с вышеизложенным, представлялось необходимым выполнить расчет устойчивости стенки против опрокидывания и против сдвига (прогиб).

Расчет конструкции на опрокидывание показал ее соответствие требованиям, предъявляемым действующими на территории РФ строительными нормами и правилами. Предельные значения выполнения условий компенсируются тем фактором, что верхняя часть ограждения является частью монолитной конструкции, работающей на изгиб.

Расчет внутренней и внешней стенки конструкции на прогиб, показал, что выбранный размер сектора выборки грунта (шириной 6 метров), приводит к созданию на стенки (защемленные с двух сторон) нагрузки в 11 кг/см2 и 17 кг/см2 соответственно, что в свою очередь, удовлетворяет прочностным характеристикам геополимера ГУТ.

Геометрические параметры и характеристики материалов ограждающей конструкции второго типа, полученные по результатам выполненных численного и аналитического расчетов представлены на рисунке 2 и в таблице 4.

Сметная стоимость строительно-монтажных работ при сооружении ограждающей конструкции котлована первого типа (с применением буросекущихся свай) составила 632,93 млн. руб. (в ценах IV квартал 2011 года), в то время как показатель конструкции второго типа (с применением геополимера ГУТ) составил 90,37 млн. руб. (в ценах 4 квартал 2011 года) [4].

Заключение. Применение интеграционной минерально-матричной технологии получения геополимера ГУТ, используемого в качестве материала-заполнителя при сооружении ограждающих конструкций котлованов типа «стена в грунте», обладает существенно более низкими стоимостными показателями (более чем в 6 раз в сравнении с методом, использующим буросекущиеся сваи), за счет максимального использования местных и загрязненных грунтов, предназначенных к вывозу, что, в свою очередь, снижает количество закупаемых ма-

Таблица 3.

Конструктивные решения ограждающей конструкции первого типа.

Наименование элемента	Принятое конструктивное решение
Материал стены	буросекущиеся железобетонные сваи из бетона класса В20.
Длина конструкции	516 м
Длина свай	28 м с учетом выпуска арматурного каркаса на 0,5 м от уровня бровки котлована (планировки) для устройства монолитного железобетонного ростверка шириной 0,5-0,7 м, высотой 0,3-0,5 м.
Конструкция стены	два ряда свай диаметром 0,45 м установленных в шахматном порядке на протяжении всей длины конструкции, для обеспечения прочности и жесткости свай и предотвращения выпора грунта из стыков свай при долговременном простаивании котлована.
Армирование свай	каждая свая, включая анкерные, армируется пространственным каркасом из шести арматур диаметром 18 мм. из стали класса А300.
Анкерная свая	диаметром 0,45 м. длиной 11 м устанавливается на расстоянии 5 м. от подпорной стены с шагом 1 м.
Анкерная тяга	выполняется в виде арматурного стержня диаметром 40 мм. из стали класса А300.
Распорки	на пересечении подпорных стен устанавливаются в три яруса с шагом 3 м. из стальных труб длиной 3 м. диаметром 530 мм., с толщиной стенки 9 мм. из стали класса С235.

Таблица 4.

Конструктивные решения ограждающей конструкции первого типа.

Материал стены	грунт укрепленный техногенный (ГУТ), изготавливаемый из выбранных при отрывке котлована зольных отложений (IV класс опасности), с добавлением песка, местных глинистых грунтов (IV класс опасности), загрязненных строительными отходами и предназначенных к вывозу, минеральных вяжущих и модифицирующей комплексообразующей добавки (МКД). При этом, нормы расхода сырья и материалов на 1 тонну конструкции составляли (в %): местные глинистые укрывные грунты и зольные отложения — 35; песок (супесь) — 35; цемент М400 — 15; модифицирующая комплексообразующая добавка (МКД) — 15.
Длина конструкции	516 м.
Конструкция стены	сотовая структура с ребрами толщиной 2 м и шагом в плане по осям 8 м, с абс. отм. нижней части до 1,6 м (включая заглубление 0,5м в суглинок) и верхней части на абсолютной отметке 8,0 м, кроме наружной стены. Абс. отм. верха конструкции наружной стены до 10,8.

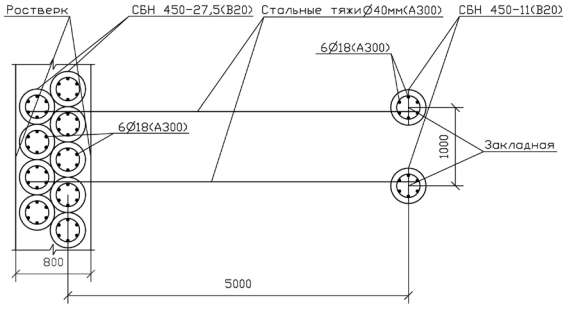


Рис.1. Конструкция ограждения первого типа с применением буросекущихся свай.

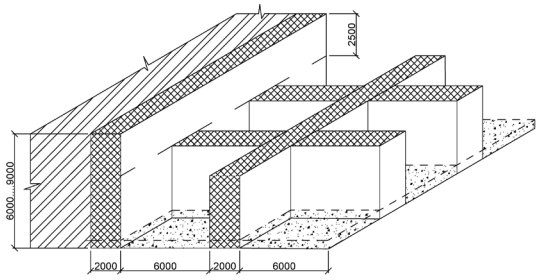


Рис. 2. Конструкция ограждения второго типа с применением геополимера ГУТ.

териалов, сокращает логистические издержки и уменьшает объем строительно-монтажных работ. Кроме того, данный метод способен обеспечить снижение негативного техногенного воздействия на литосферу, оказываемого при проведении строительных работ, благодаря сокращению объёма используемых природных нерудных строительных материалов и исключения миграции поллютантов, содержащихся в загрязненных почвах, в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жабриков С.Ю.* Использование ИММ-технологии для защиты литосферы при проведении работ по рекультивации загрязненных городских территорий. // Инновации и инвестиции. 2015. № 3. С. 239-241.

2. *Кнатько В.М.* Теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах // Л. изд-во ЛГУ, 1989, 91 с.

3. *Кнатько В.М., Кнатько М.В., Щербакова Е.В., Лаздовская М.А.* Оперативная оценка эффективности химических реагентов при укреплении дисперсных грунтов путем синтеза неорганических вяжущих веществ // Грунтоведение, №1, 2013.

4. Материалы проекта: «Многоквартирный дом со встроенными помещениями и паркингом по ул. Белышева, участок 15 (западнее дома 8, корпус 2, литера А) второй этап рекультивации». Том 3. г. Санкт-Петербург, ООО «НТЦ «Технологии XXI века», 2011 г.

5. Модифицирующая комплексообразующая добавка (МКД). Технические условия ТУ 5744-001-58330067-2010, г. Санкт-Петербург, 2010г., ООО «НТЦ «Технологии XXI века».

6. Технический отчёт об инженерно-геологических изысканиях участка проектирования и строительства многоквартирного дома со встроенными помещениями и двумя подземными паркингами. г. Санкт-Петербург, 2010 г., ООО «ИЗЫСКАТЕЛЬ».

THE USE OF GEOPOLYMER "GUT" FOR THE CONSTRUCTION OF RETAINING WALLS

© 2016 M.V. Knatko*, D.Yu. Zdobin, S. Yu. Zhabrikov***

** LLC "NTC Tekhnologii XXI veka", Lermontovsky ave. 7, Saint-Petersburg, 190068, Russian Federation, office@nw-tech.ru*
*** Saint-Petersburg State University,*
Universitetskaya emb. 7/9, г. Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation;
zdobin_soil@mail.ru

In the article the example of the construction of the spatial bearing structure (SBS) that performs the functions of the retaining wall, from geopolymer GUT, obtained by implementing the IMM-technology using contaminated soils. Performed techno-economic comparison of the construction of the retaining wall by bored-secant piles and SBS in engineering-geological conditions, due to the presence of weak soils at depth, exceeding the depth of the pit. Shown a significant positive economic effect of the application of geopolymers in comparison with the traditional method of bored-secant piles.

Key words: integration mineral-matrix technology, geopolymers, geoenvironmental engineering, retaining walls.

Вячеслав Александрович Усов

27 апреля исполнилось 80 лет замечательному учёному в области геокриологии, мерзлотоведения и региональной инженерной геологии, педагогу, посвятившему всю свою жизнь преподаванию нашей науки на кафедре грунтоведения и инженерной геологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, кандидату геолого-минералогических наук, доценту Вячеславу Александровичу Усову.

Вячеслав Александрович родился в 1936 году в г. Дзержинске Горьковской области. Закончив среднюю школу, поступил на геологический факультет Московского университета, который закончил в 1959 году.

Ученик выдающегося русского мерзлотоведа Владимира Алексеевича Кудрявцева Владислав Александрович специализировался на изучении вечной мерзлоты побережья морей Арктики, поэтому несколько лет работал на Крайнем Севере (Якутия, дельты Лены, Яны, Индигирки, побережье Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей).

В 1967 году защитил кандидатскую диссертацию на геологическом факультете Ленинградского университета, и с тех пор его научная и педагогическая деятельность связана с Ленинградским-Санкт-Петербургским университетом.

Помимо плодотворной научно-педагогической деятельности, Владислав Александрович известен как автор ряда прозаических произведений как на современную тему («Режим таяния», «Вид с холма», «Как трава в росе», «Куратор»), так и захватывающих исторических романов («Цари и скитальцы», «Причастный тайнам», «Огненное предзимье»). За исторический роман «Цари и скитальцы» автор получил премию Союза русских писателей в Нью-Йорке.

Среди знатоков современной русской литературы особо ценится повесть «Побег паука», которое наряду с легендарным романом О.М.Куваева «Территория» считается наиболее полным, правдивым и честным описанием жизни и быта геологов.

Вячеслав Александрович продолжает писать статьи и учебные пособия, читать лекции, выезжать на летние учебные производственные практики и многие поколения грунтоведов–универсантов по праву могут назвать его своим учителем.

Охотинское общество грунтоведов, редакция журнала «Грунтоведение» поздравляет Вячеслава Александровича с Юбилеем, желает ему крепкого здоровья, долгих лет жизни и с нетерпением ждёт новых научных публикаций и ярких художественных произведений!

Охотинское общество грунтоведов
Редакция журнала «Грунтоведение»

ВАЖНОЕ И ПОЛЕЗНОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рецензия на учебное пособие «Лабораторные работы по грунтоведению» / Учебное пособие под ред. В.Т.Трофимова и В.А.Королева. – М., Высшая школа, 2008. – 519 с.: ил.

Прошедшие с 2008 годы, когда в издательстве «Высшая школа» было опубликовано учебное пособие «Лабораторные работы по грунтоведению», показали большую роль и полезность этого издания. Это пособие за короткий срок приобрело широкую известность и быстро разошлось по многочисленным читателям нашей страны.

И это не удивительно, т.к. авторами и редакторами этого пособия были крупные специалисты по грунтоведению, имена которых известны в России и за рубежом. Издание было подготовлено большим коллективом авторов – преподавателей и научных сотрудников кафедры инженерной и экологической геологии геологического ф-та МГУ им. М.В.Ломоносова, которые в течение ряда лет ведут или вели в МГУ теоретические и практические занятия по курсу «Грунтоведение» и имеют большой практический опыт преподавания данной дисциплины. Авторы издания – известные в нашей стране инженер-геологи: зав. кафедрой профессор В.Т.Трофимов, профессора В.А.Королев, Е.А.Вознесенский, В.Н.Соколов, доценты Т.В.Андреева, С.К.Николаева, Е.Н.Самарин, старшие научные сотрудники, кандидаты геол.–мин. наук В.М.Ладыгин, Л.Л.Панасьян, В.Г.Шлыков и др.

Структура и содержание этого учебного пособия соответствует ныне действующей профессиональной образовательной программе ФГОС 3+ по направлению «Геология» высшей школы. В учебном пособии изложен полный комплекс лабораторных работ по курсу «Грунтоведение», предусмотренный программой специальности «Гидрогеология и инженерная геология» направления «Геология». Однако, оно успешно использовалось и используется при изучении грунтов в рамках любой геологической специальности в вузов страны, а также аспирантами и сотрудниками научных и производственных изыскательских организаций.

Авторы выпустили это пособие вслед за учебником «Грунтоведение», 6-е издание которого было опубликовано в 2005 г. И поэтому содержание и структура рецензируемого учебного пособия соответствуют структуре этого учебника [1]. Настоящее пособие было существенно переработано и дополнено авторами, исходя из новейших достижений в области грунтоведения, появившихся за последнее время. В первой части пособия рассматриваются методы изучения состава и строения грунтов, во второй – методы изучения свойств грунтов (химических, физико-химических, физических и физико-механических), а в третьей излагаются методы обработки и анализа данных экспериментальных данных, включая статистические.

Важно подчеркнуть, что рецензируемое пособие содержит как общепринятые и хорошо апробированные методы исследований грунтов (изложенные в ГОСТах или иных нормативных документах), так и новые оригинальные лабораторные методы изучения состава, состояния, строения и свойств различных грунтов. В отличие от предыдущего издания авторами был дополнен целый ряд новых методов, появившихся в последнее время в области грунтоведения, в том числе и с учетом разработки новых приборов, аналитического оборудования и т.п. Кардинально был переработан раздел «Изучение химического состава твердого компонента грунтов», написанный с учетом новых аналитических методов и приборов. Появилась новая глава «Методы изучения химических свойств грунтов». Многие отдельные лабораторные работы по изучению свойств грунтов пере-

[1]Грунтоведение // Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. В.Т.Трофимова. – 6-е изд. перераб. и дополн. – М., Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с. (сер.: Классический университетский учебник).

работаны или написаны заново с учетом новейшего оборудования, появившегося на кафедре за последнее время. Наконец, третья часть учебного пособия также по-сути была написана заново, она дополнена такими новыми разделами, как «Инженерно-геологический элемент. Нормативные и расчетные показатели свойств грунтов».

Описание лабораторных работ в пособии дается по единому плану: в начале приводится краткая характеристика того или иного свойства (или изучаемого показателя), затем – методы, применяемые для изучения данного свойства, необходимое оборудование и аппаратура, и затем описывается ход определения, последовательность проведения испытаний и порядок обработки получаемых результатов. В конце работ приводятся рекомендуемые формы журналов или отчетов по той или иной работе с соответствующим примером расчета. Это пособие значительно лучше иллюстрировано, чем предыдущее издание. Для большинства лабораторных работ приводятся рисунки или фотографии необходимого оборудования и приборов, что значительно облегчает студентам выполнение практических работ.

Следует отметить, что научный уровень содержательной части пособия высокий и полностью отвечает современным требованиям инженерной геологии. Кроме того, методический уровень пособия также соответствует современным требованиям, он адаптирован к студентам и существующим образовательным технологиям в области инженерной геологии и грунтоведения. Практические вопросы в пособии освещены достаточно просто и в то же время полно. Психолого-педагогические требования к трактовке излагаемого в учебном пособии материала авторами удачно соблюдены, пособие написано простым и доходчивым языком, что делает его удобным к широкому применению.

Пособие вышло в издательстве «Высшая школа» значительным тиражом (2 тыс. экземпляров), но по прошествии более чем 8 лет с момента выхода этого пособия оно стало редким и труднодоступным для студентов вузов. Существенно сократились его запасы в библиотеках учебных пособий вузов. Кроме того, это пособие являлось в прошедший период основным практическим руководством по грунтоведению как в вузах, так и во многих проектно-изыскательских организациях и грунтовых испытательных лабораториях. В этой связи, безусловно, назрела насущная необходимость подготовки нового издания данного пособия.

Можно уверенно констатировать, что рассматриваемое учебное пособие сыграло значительную роль в подготовке грунтоведов и инженер-геологов в нашей стране за прошедший период. Оно стало широко востребованным и активно использовалось студентами и аспирантами многих вузов России, горных и строительных учебных заведений, а также преподавателями и научными работниками, работающими в области инженерной геологии, грунтоведения, почвоведения и др.

Здобин Д.Ю.
Учёный секретарь Охотинского общества грунтоведов,
к.г.-м.н., Институт наук о Земле
Санкт-Петербургский государственный университет

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Вержбицкая Екатерина Геннадьевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Санкт-Петербург.

Захаров Михаил Сергеевич – кандидат геолого-минералогических наук, профессор Санкт-Петербургского национального открытого института, Санкт-Петербург.

Здобин Дмитрий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры почвоведения и экологии почв института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, ученый секретарь Охотинского общества грунтоведов, Санкт-Петербург.

Русаков Алексей Валентинович – доктор географических наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург.

Жабриков Станислав Юрьевич – главный инженер проекта, ООО «Научно-технический центр «Технологии XXI века», Санкт-Петербург.

Кнатько Михаил Васильевич – кандидат физико-математических наук, генеральный директор ООО «Научно-технический центр «Технологии XXI века», Санкт-Петербург.

Сдано в набор: 26.05.2016 Подписано в печать: 07.06.2016 Формат бумаги: 60x88 1/8
Цифровая печать. Тираж 100 экз.

Учредитель: Охотинское общество грунтоведов

Издатель: «Центр генетического грунтоведения»
190068, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., 7, лит. А

Отпечатано в типографии «СВЕН»