

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра физической географии и ландшафтоведения
Отчет зимней экспедиции научного студенческого общества



**«Региональная модель геосистемных взаимодействий
междуречья Цны и Вороны (Тамбовская область)»**

Состав участников:

Студенты 1 курса: Баталова В.А., Бичурин Р.Р., Омерда Е.А.

Студенты 2 курса: Малышева А.Э., Моисеев А.И., Черевик М.А.

Студенты 3 курса: Аваков А.А., Сурков Н.В.

Студент 4 курса: Лозбенев Н.И.

Руководители: к.г.н, доц. Козлов Д.Н., д.г.н., в.н.с. Новенко Е.Ю.

Москва 2016

Содержание

Введение	3
Глава 1. Физико-географические особенности междуречья Цны и Вороны.....	5
Глава 2. Материалы и методы полевых, лабораторных и камеральных исследований.	12
Глава 3. Структурно-функциональная организация междуречного недренированного типа местности	21
Заключение	28
Список литературы.....	29

Введение

Региональные модели геосистемных взаимодействий содержат систематизированные представления о внутриландшафтных связях – как межкомпонентных (между отдельными свойствами растительности, почв, рельефа, отложений и др.), так и между соседними природно-территориальными комплексами (ПТК) локальной размерности. Такие модели разработаны для Среднерусской возвышенности (Мильков,), Окско-Донской низменности (Ахтырцев, 1999), Устьянского плато (Хорошев,) и широко используются для целей ландшафтной индикации (Викторов, Чикишев, 1990), почвенно-ландшафтного картографирования (Видина, 1962; Сорокина, 2006), агроэкологической оценки земель (Кирюшин, 2011) и ландшафтного планирования (Хорошев, 2016). Вместе с тем ландшафтный покров многих регионов остается малоизученными.

Цель исследований НСО кафедры физической географии и ландшафтоведения – разработать региональную модель геосистемных взаимодействий слабоизученного в почвенно-ландшафтном отношении Вороно-Цнинского междуречья, – в картографической форме передать закономерности внутриландшафтной дифференциации режимов функционирования элементарных геосистем пологоволнистых слабо- и среднерасчлененных эрозионно-денудационных равнин Приволжской возвышенности лесостепной зоны.

Задачи исследования: 1) провести обзор региональных физико-географических условий на основе литературных источников и среднемасштабных тематических карт, 2) на предварительном этапе на основе дешифрирования космических снимков и анализа топографических карт обосновать положение ключевых участков, контрастных по условиям рельефа и почвенно-грунтового увлажнения, 3) во время зимней экспедиции НСО провести полевое обследование ключевых участков, 4) выполнить необходимые лабораторные анализы проб почв, отложений, грунтовых вод, 5) обобщить полученные сведения о межкомпонентных и межкомплексных связях в виде карт, таблиц и текста отчета.

В ходе зимней экспедиции в сроки 27 января – 05 февраля 2016 г. на базе ФГУП «Тамбовское» на ключевых участках проведена инструментальная съемка (комплект ГНСС Stonex S9 III+) микрорельефа как фактора локального перераспределения стока, обследованы почвы и почвообразующие породы (3 разреза и 10 буровых), проведены наблюдения за почвенно-грунтовыми водами, измерена глубина промерзания, мощность снега и его влагозапас. Для отобранных образцов почв выполнены лабораторные анализы профильного распределения влажности, плотности и гранулометрического состава. Для 41 образца из пахотного горизонта измерен коэффициент степени гидроморфизма,

выражающий продолжительность весеннего переувлажнения. Для проб почвенно-грунтовых вод определены минерализация и солевой состав.

Самостоятельную задачу во время экспедиции составляло изучение информативности подповерхностного сканирования (георадар ОКО-2, 250 и 550 МГц) в измерении глубины промерзания и уровня грунтовых вод по профилю длиной 2 км от водораздела к местному базису эрозии.

В работе используется понятийная база, общие подходы и конкретные методики, разработанные в рамках учений о природных и природно-антропогенных ландшафтах (Солнцев, 2000; Николаев и др., 2008), крупномасштабной почвенной картографии в методологии структур почвенного покрова (Фридланд, 1972; Сорокина, 2006), основ сельскохозяйственной типологии земель (Раменский, 1938, Зворыкин, 1985), адаптивно-ландшафтного земледелия (Кирюшин, 2005), методологии цифрового картографирования и моделирования на базе геоинформационных технологий, средств дистанционного зондирования и статистического анализа (Козлов и др., 2006; Козлов, Сорокина, 2012).

Выражаем благодарность директору В.Ю.Лебедеву и сотрудникам ФГУП «Тамбовское» за помощь в организации и проведении зимней экспедиции, доценту кафедры геохимии ландшафтов и географии почв П.П. Кречетову за помощь в проведении гранулометрического анализа почвенных образцов, инженеру кафедры гидрологии суши А.Н.Лукияновой за помощь в проведении химического анализа почвенно-грунтовых вод, научному сотруднику Почвенного института Е.А.Новичковой за предоставленные материалы и помощь в диагностике почв и проведении анализов почвенных образцов.

Глава 1. Физико-географические особенности междуречья Цны и Вороны.

Район исследований расположен в пределах лесостепной провинции Приволжской возвышенности (**рис. 1**) на пологоволнистых слабо- и среднерасчленённых эрозионно-денудационных междуречных равнинах Цны и Вороны. По площади преобладает слабонаклонные моренные равнины с уклонами до 2° , расчлененные балками и водосборными ложбинами. Вершинные поверхности Вороно-Цнинского междуречья (210-214 м) представлены узкими ареалами недренированных субгоризонтальных равнин с пятнистой сетью неглубоких западин термокарстового происхождения. Небольшие по площади участки пашни в пределах коротких прибалочных склонов имеют уклон до 5° , из-за чего здесь развиваются эрозионные процессы.

Кристаллический фундамент расположен на глубине 790-1050 метров и состоит из архей-раннепротерозойских гнейсов, кристаллических сланцев и гранитоидов [Тамбовская лесостепь..., 2013]. Древние породы разбиты множеством разломов, которые, частично, предопределили эрозионное расчленение территории.

В палеозое и мезозое территория испытывала чередование морских трансгрессий и регрессий. В сводной стратиграфической колонке по Тамбовской области [Пояснительная записка к листу геологической карты N-38-XXV] осадочные породы рифея представлены аргиллитами, алевролитами и доломитами общей мощностью более 300 метров. Отложения девона и карбона имеют мощность около 750 метров и характеризуются чередованием карбонатных пород (известняк, доломит, мергель) с алевролитом и глинами. В юрском и меловом периодах происходило накопление алевролита и глин с прослоями мергелей. Неогеновые отложения представлены маломощными (2-5 метров) глинами и песками с галькой опок, местами выходящие к поверхности на склонах самых крупных балок.

Четвертичные отложения представлены раннеплейстоценовой донской мореной мощностью до 26 метров, залегающей на глубине 3 или более метра. По составу это суглинки и глины с включением гравийно-галечниково-валунного материала кристаллических пород [Тамбовская лесостепь..., 2013]. Согласно существующим представлениям, язык донского оледенения связан с новоземельским центром льдообразования и поэтому не несет в себе обломки карбонатных пород. Помимо валунных суглинков на плоских и вогнутых междуречьях встречаются глинистые отложения наледниковых озер, выступающих наравне с моренами почвообразующими породами и являющихся локальным водоупором. На склонах балок долинного типа

местами вскрываются маломощные песчаные отложения флювиогляциальных потоков и ложбин перетока талых ледниковых вод.

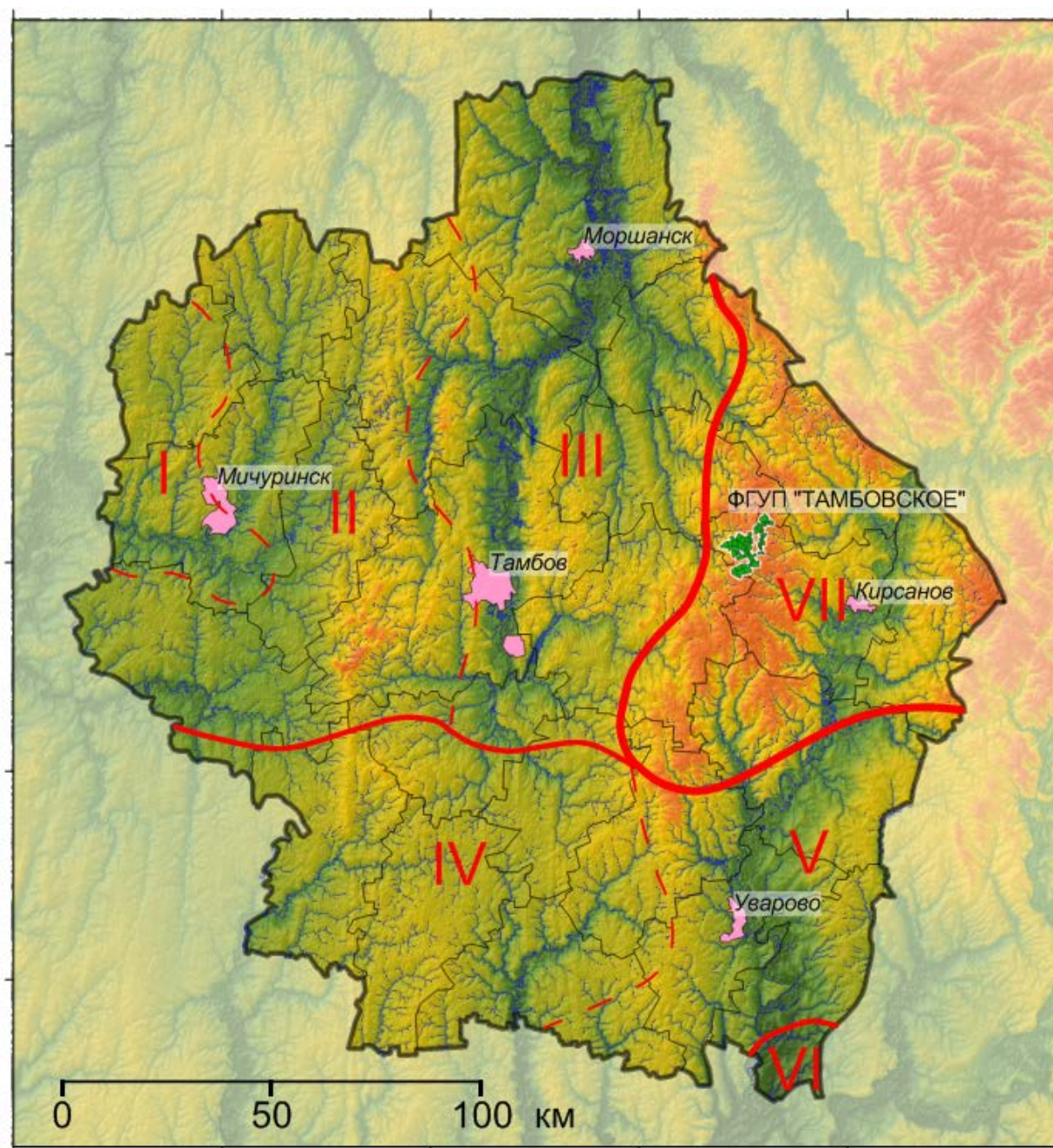


Рис. 1. Район исследований относительно рельефа и единиц физико-географического районирования Тамбовской области. Лесостепная провинция Окско-Донской низменности, подзона северной лесостепи, районы: I – Воронежский придолинно-высокотеррасный, II – Цнинско-Воронежский ополье-водораздельный, III – Цнинский долинно-зандровый; Подзона типичной лесостепи, районы: IV – Савальско-Битюгский долинно-плоскоместный, V – Воронинский долинно-эрозионный; подзона южной лесостепи, районы: VI – Прихоперский долинно-террасный; Лесостепная провинция Приволжской возвышенности, подзона северной лесостепи, районы: VII – Цнинско-Воронинский долинно-водораздельный (Тамбовская лесостепь ..., 2013).

Средне-, позднеплейстоценовые и голоценовые отложения представлены аллювиально-пролювиальными песками, супесями и глинами. Расположение в перигляциальной зоне всех, кроме донского, плейстоценовых оледенений стало причиной формирования мощной толщи тяжелых лессовидных суглинков и глин (до 6 метров) с прослоями погребенных почв, формировавшихся в межледниковые эпохи. Всего на изучаемой территории выделяют пять лессово-почвенных формаций [Тамбовская лесостепь..., 2013].

Плотные тяжелосуглинистые и глинистые отложения выступают водоупором для выпадающих атмосферных осадков, мешая их инфильтрации и перераспределению по территории, способствуя увеличению увлажненности территории и проявлению признаков гидроморфизма.

Климат района исследований умеренно-континентальный (**рис. 2**). По данным Кирсановской метеостанции сумма температур выше $+10^{\circ}$ составляет $2400-2500^{\circ}\text{C}$ (Система земледелия и землеустройство..., 1986). Безморозный период длится в среднем 135-145 дней. Общий вегетационный период – 183 дня. Гидротермический коэффициент 1,0. Среднегодовое количество осадков составляет 500 мм, в том числе за период с температурой $+10^{\circ}$ и выше – 240 мм. Каждые 5-10 лет чередуются периоды повышенного/пониженного атмосферного увлажнения (**рис. 3**). Во влажные годы выпадает до 600 и более мм осадков, в сухие – менее 400 мм. В последнее десятилетие осадков выпадало ниже среднемноголетней нормы, а в 2014 г в Тамбове выпало всего 336 мм осадков, т.е. полевое обследование проведено при пониженном фоне атмосферного увлажнения.



Рис. 2. Климатограмма по наблюдениям

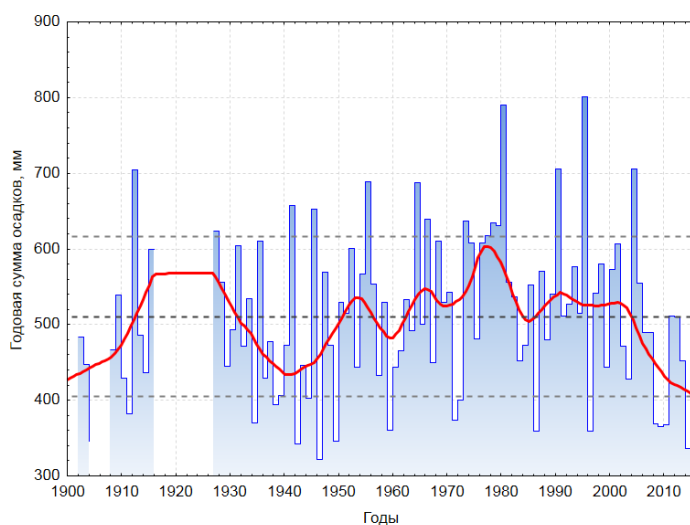


Рис. 3. Динамика годовых сумм атмосферных осадков по метеостанции г. Тамбов (60 км к западу). Данные: 1)

Самые ранние даты появления снежного покрова – начало октября, в среднем устойчивый снежный покров устанавливается к концу ноября. Снег держится в среднем 115-127 дней и сходит 25 марта – 1 апреля. По данным снегомерных работ, средняя многолетняя толщина снега на полях 27-34 см, однако к концу зимы на открытых участках толщина снежного покрова, как правило, меньше на 15-20 см в сравнении с защищенными от ветра участками. Снеговое питание дает 60-80% стока рек.

Вороно-Цнинское междуречье относится к **подзоне северной лесостепи** (Дудник, 1980). Естественными сообществами Цнинско-Воронинского физико-географического района являются смешанные и широколиственные леса на водоразделах в сочетании с массивами луговых степей и остепнённых лугов. Благоприятные агроклиматические условия определили сплошную распашку Вороно-Цнинского междуречья. Лесистость Кирсановского района составляет всего 6%. Изолированные массивы вторичных лесов из дуба, клена, ясеня, осины, березы сохранились в центральных наименее дренируемых участках междуречных равнин. Наличие в их пределах переувлажнённых западин seriously ограничивает сроки распашки и урожайность культур. Долины балок и малых рек используются под выпас и сенокошение.

В 1950-е – 70-е годы по границам полей массово производились лесопосадки с целью снегозадержания, борьбы с дефляцией и суховеями, улучшения сопротивляемости сельхозугодий засухам. Их обычная ширина – 30 – 50 м, друг от друга они отстоят на 1-2 км.

Основные возделываемые культуры – пшеница (как озимая, так и яровая, 11% стоимости продукции), подсолнечник (24%), сахарная свёкла (19%), овёс, кормовая кукуруза (яровые). Меньшие площади занимают рожь, ячмень, в последние годы проводится интродукция тритикале. Значительные площади отведены под овощи, первое место из которых занимает картофель (Тамбовская лесостепь..., 2013).

Весенний застой влаги в условиях плоского мезорельефа с небольшими уклонами и тяжелосуглинистый состав почвообразующих пород с водоупором на контакте с донской мореной и озерными глинами способствует широкому развитию в пределах Вороно-Цнинского междуречья **луговато- и лугово-черноземных почв с выраженными признаками оглеения и оподзоленности**. Такие почвы обладают неблагоприятными агроэкологическими условиями – длительным переувлажнением весной и в начале лета, сложностью обработки почвы и др. Озимые культуры в средние по осадкам и, особенно,

во влажные годы часто подвержены угнетению или гибели от вымокания. Вместе с тем, дополнительное почвенное увлажнение в сухие и средние годы позволяет получать на таких почвах высокий урожай озимой пшеницы, подсолнечника (Зайдельман и др., 2013). Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы под озимыми культурами на дату прекращения их вегетации 125-150 мм. На даты колошения озимых эти запасы не превышают 100-125 мм (Тамбовская лесостепь ..., 2013).

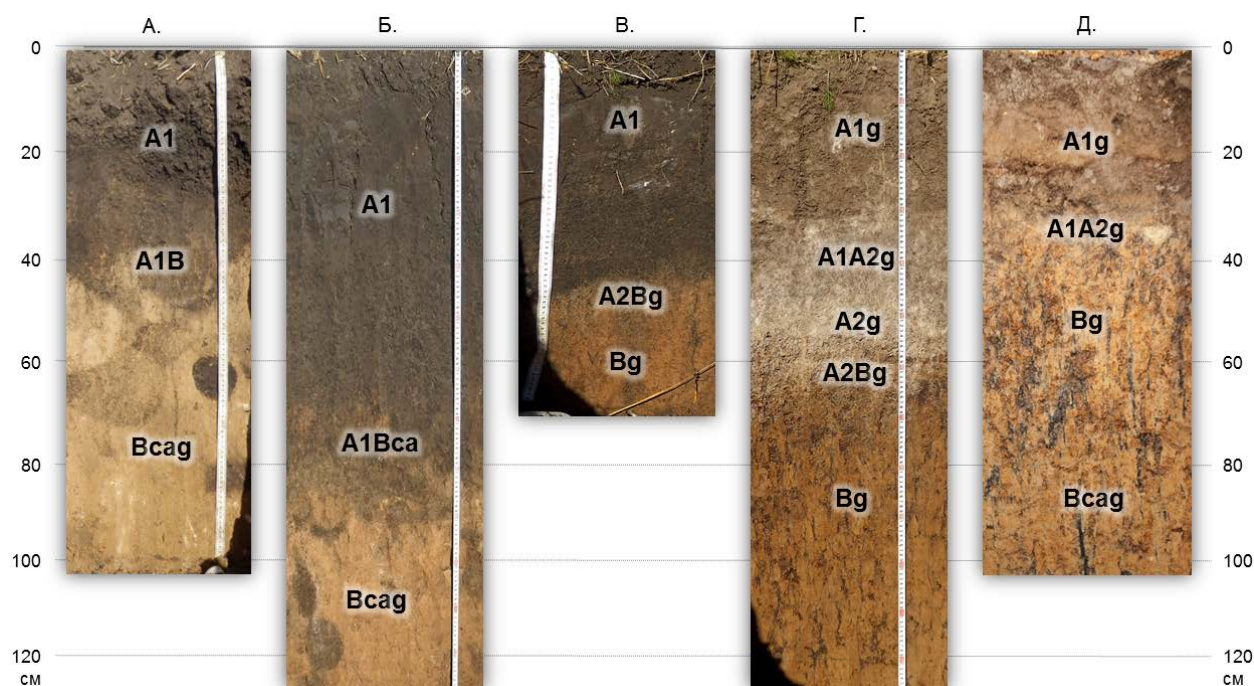


Рис. 4. Почвы междуречья Цны и Вороны, луговато-черноземные: А - глубокоглееватые среднесмытые, Б – глубокоглееватые, В – оподзоленные глееватые, Г – подзолистые глееватые; луговые: Д - глеевые

Критерии полевой морфологической диагностики луговато-черноземных и лугово-черноземных почв разной степени оглеения и оподзоленности (табл. 1, рис. 4).

Таблица 1. Морфологические критерии диагностики почв ФГУП «Тамбовское»

Почва	Водный режим гумусового горизонта	Характерные признаки				
		Гумусовый горизонт	Оподзоленный	Оглеение	Проявления карбонатов	Другие
Чернозем типичный (в границах хозяйства не встречен)	периодически промывной без застоя влаги, грунтовые воды глубже 5 м, КСГ = 1-1,5	темно-серый, зернистый, 60-70 см	нет	нет	в горизонте АВ, налеты, прожилки, «плесень», округлые однородные конкреции	нет
Луговато-черноземная глубоко-оглеенная	застой влаги 1-2 недели во влажные годы, грунтовые воды глубже 5 м, КСГ = 2-3	темно-серый, среднезернистый, 90-110 см	нет	мелкие Мп вкрапления в иллювиальном горизонте	налеты, выпоты, прожилки, «плесень», двуслойные «журавчики»	нет
Луговато-	застой влаги от	темно-	нет	Мп	ниже	нет

черноземная глееватая и глеевая	2 недели до 1,5 месяцев, грунтовые воды глубже 5 м, КСГ = 1,3-2,5	серый, среднезерни стый, 70-100 см		вкраплени я, глинистые кутаны	гумусового горизонта	
Луговато- черноземная оподзоленная глееватая	застой влаги в средние и влажные годы до 1,5-2 месяцев, грунтовые воды глубже 5 м, КСГ = 3-6	темно- серый, комковато- зернистый 60-70 см	горизонт A2B мощностью 10-20 см под гумусовым горизонтом	горизонт Bg и C _{gag} Бурые и черные округлые ортштейны 1-3 мм и Mn вкраплени я	нет	скелетаны, сизовато- серые гумусовые кутаны на 70-100% поверхност и педов
Луговато- черноземная подзолистая глееватая	длительный сезонный застой влаги при положении грунтовые воды глубже 5 м, КСГ > 6	темно- серый, при высыхании белесый, комковато- пылеватый, 25-35 см	самостоятел ьный горизонт A2fs, g 5-30 см	горизонты Bg и C _g , угловатые бурые ортштейны 1- мм до 10% от массы	нет	скелетаны, сизовато- серые гумусовые кутаны 70- 100 % поверхност и педов
Лугово- черноземная глееватая и глеевая	длительный сезонный застой влаги при неглубоком залегании грунтовых вод (1-2 м), КСГ > 8	темно- серый, среднезерни стый, 40-50 см	нет	оглеение по всему пофилю	карбонатная пропитка, угловатые карбонатные конкреции	Нет
Лугово- черноземная оподзоленная глееватая и глеевая	длительный сезонный застой влаги при грунтовых водах на глубине 2-3 м в сухие годы	темно- серый, среднезерни стый, 30-50 см	горизонт A2B мощностью 10-20 см	оглеен весь профиль, самостояте льный глеевый горизонт	ниже гумусового горизонта	скелетаны, гумусовые кутаны на 70-100% поверхност и педов

* КСГ – коэффициент степени гидроморфизма (Степанцова, 2012)

Луговато-черноземные глубокооглеенные почвы формируются на слабодренлируемых междуречных пространствах с периодическим кратковременным 1-2 недели застаиванием верховодки (рис. 4Б). В иллювиальном горизонте встречаются мелкие Mn вкрапления, плотные карбонатные конкреции распространены на верхней границе капиллярной каймы (120-150 см).

Луговато-черноземные оподзоленные оглеенные и глеевые почвы с контрастным застойно-промывным водным режимом и ежегодным застоем верховодки в профиле (2-3 месяца) диагностируются укороченным гумусовым горизонтом (40-60 см), появлением осветленного горизонта A2B с обильными скелетанами на поверхности педов (рис. 4В), бескарбонатному иллювиальному – с многочисленными Mn вкраплениями и гумусово-глинистыми кутанами. Характерны твердые конкреционные новообразования – бурые ортштейны – в гумусовом горизонте и плотные угловатые карбонатные конкреции в слое сезонного колебания уровня грунтовых вод.

Луговато-черноземные подзолистые глееватые почвы замкнутых депрессий имеют гумусовый горизонт мощностью 20-30 см пылевато-зернистой структуры, самостоятельный подзолистый горизонт с многочисленными угловатыми бурыми орштейнами и иллювиальным с кутанами сизовато-серого цвета (**рис. 4Г**). Весь профиль оглеен.

Лугово-черноземные слабоглееватые, глееватые и глеевые почвы формируется в условиях грунтового увлажнения, при которых отсутствуют признаки оподзоливания, а оглеение наблюдается на фоне окарбоначивания. Укороченный гумусовый горизонт имеет зернистую структуру, способную деградировать в комковато-призматическую при обработке в переувлажненном состоянии. Оглеение наблюдается по всему профилю. В слабооглеенной почве в горизонте АВ пятна оглеения холодной окраски занимают 10-20% площади горизонта. В глееватой почве доля холодных тонов – 40-50%, горизонт Bg'' имеет мраморовидную окраску. Помимо пятен оглеения присутствуют рыжие пятна ожелезнения, белые вкрапления карбонатов и темно-серые потеки гумуса. В глеевой почве формируется самостоятельный глеевый горизонт с однородной сизой окраской с единичными ржаво-охристыми пятнами.

Луговато-черноземные глубокоглееватые эродированные почвы (рис. 4А) формируются на пологих и покатых прибалочных склонах. Отличаются укороченным гумусовым горизонтом, по мощности которого различают слабо- (горизонт А 40-50 см – укорочен на 30% по сравнению с несмытыми участками пашни), средне- (20-40 см – смыт более чем на половину) и сильносмытые (горизонт А полностью смыт) почвы.

Глава 2. Материалы и методы полевых, лабораторных и камеральных исследований.

Разрабатываемая региональная модель геосистемных взаимодействий Вороно-Цнинского междуречья отражает закономерности внутриландшафтной дифференциации режимов функционирования элементарных геосистем в двух масштабах: в крупном (М 1:25000) раскрываются закономерности дифференциации типов местностей (плакорного, междуречного недренированного) в зависимости от особенностей макро- и мезорельефа; в детальном (М 1:5000) – демонстрируется морфологическую структуру каждого типа местности на представительных ключевых участках площадью 30-50 га.

Карта типов местностей составлена в масштабе 1:25 000 в три этапа:

- а. предварительный макет карты построен на основе дешифрирования разновременных космических снимков Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI, дополненных снимками сверхвысокого разрешения сервиса Google. Междуречный недренированный тип местности диагностировался по густой сети западного микрорельефа с водозастойным водным режимом. Ареалы весеннего переувлажнения четко выделяются на снимках в виде темных пятен (**рис. 3**) поскольку поверхность воды и насыщенной влагой почвы интенсивнее поглощают солнечный свет по сравнению с сухими (особенно в средне инфракрасном диапазоне). По снимкам начала апреля выделялась область максимального переувлажнения в момент весеннего снеготаяния. В дальнейшем область подразделялась на ареалы в зависимости от длительности переувлажнения по снимкам конца мая-начала июня. Участки с сохранением в начале лета очагов переувлажнения выделялись в качестве гидроморфных урочищ субгоризонтальных водноледниковоморенных равнин. Участки непродолжительного переувлажнения, обсыхающие к началу лета, выделены в качестве полугидроморфных слабонаклонных моренных равнин. Земли без признаков весеннего переувлажнения отнесены к плакорному типу местности пологих склонов. Склоновый тип местности выделен путем дешифрирования смытых почв вдоль распаханых полого-покатых прибалочных склонов по снимку сверхвысокого разрешения. Эродированные почвы выделяются за счет более светлой окраски поверхности в результате припахивания срединного горизонта почв при сокращении мощности гумусового горизонта (**рис. 4, рис. 5**).;
- б. Для верификации результатов визуального дешифрирования космических снимков проведено специальные работы на трех ключевых участках (**рис. 6**). Описание почв проводилось по разрезам (3 шт.) и буровым (11 шт.) с определением уровня грунтовых вод в каждой точке. По соотношению фракционного состава гумуса

определялся коэффициент гидроморфизма почв (Степанцова, 2012), выражающий длительность переувлажнения пахотного горизонта. При диагностике почв использовалась классификация почв СССР (1977). На ключевых участках проведена детальная топографическая съемка с помощью дифференцированной системы спутникового позиционирования Stonex S9 III, на основе которой проведен расчет карт микрорельефа и выбирались места заложения почвенных разрезов и буровых.. После полевого обследования для ключевых участков составлялась карта элементарных почвенных ареалов. Для участка в междуречном недренированном типе местности составлен комплексный профиль с показом мезо- микрорельефа, геологического строения. Вдоль профиля проведены наблюдения за почвенно-грунтовыми водами, измерена глубина промерзания, мощность снега и его влагозапас.

- в. На заключительном этапе по результатам полевого почвенного обследования уточнялись границы контуров и формировалась легенда итоговой карты типов местностей. При этом использовались карта элементов мезоформ рельефа, построенная автоматически на основе геоморфометрического анализа цифровой модели рельефа, основанной на высотных отметках топографической карты ВИСХАГИ.

Составление модели геосистемных взаимодействий на локальном уровне (ключевых участках) заключается в выявлении свойств ландшафтного покрова в разных условиях микрорельефа и состава отложений, изменяющихся в зависимости от соотношения поверхностного и грунтового переувлажнения. Под структурой геосистем мы понимаем фациальную структуру ландшафтов, отражением которой в явном виде является структура почвенного покрова на уровне подтипов почв. Функциональная организация геосистем – процесс перераспределения влаги между элементами микро- и мезорельефа, формирующим структуру ландшафтов, обусловленный, в том числе, уровнем грунтовых вод и гранулометрическим составом почв и пород, индицируемый по степени проявления гидроморфизма почв.

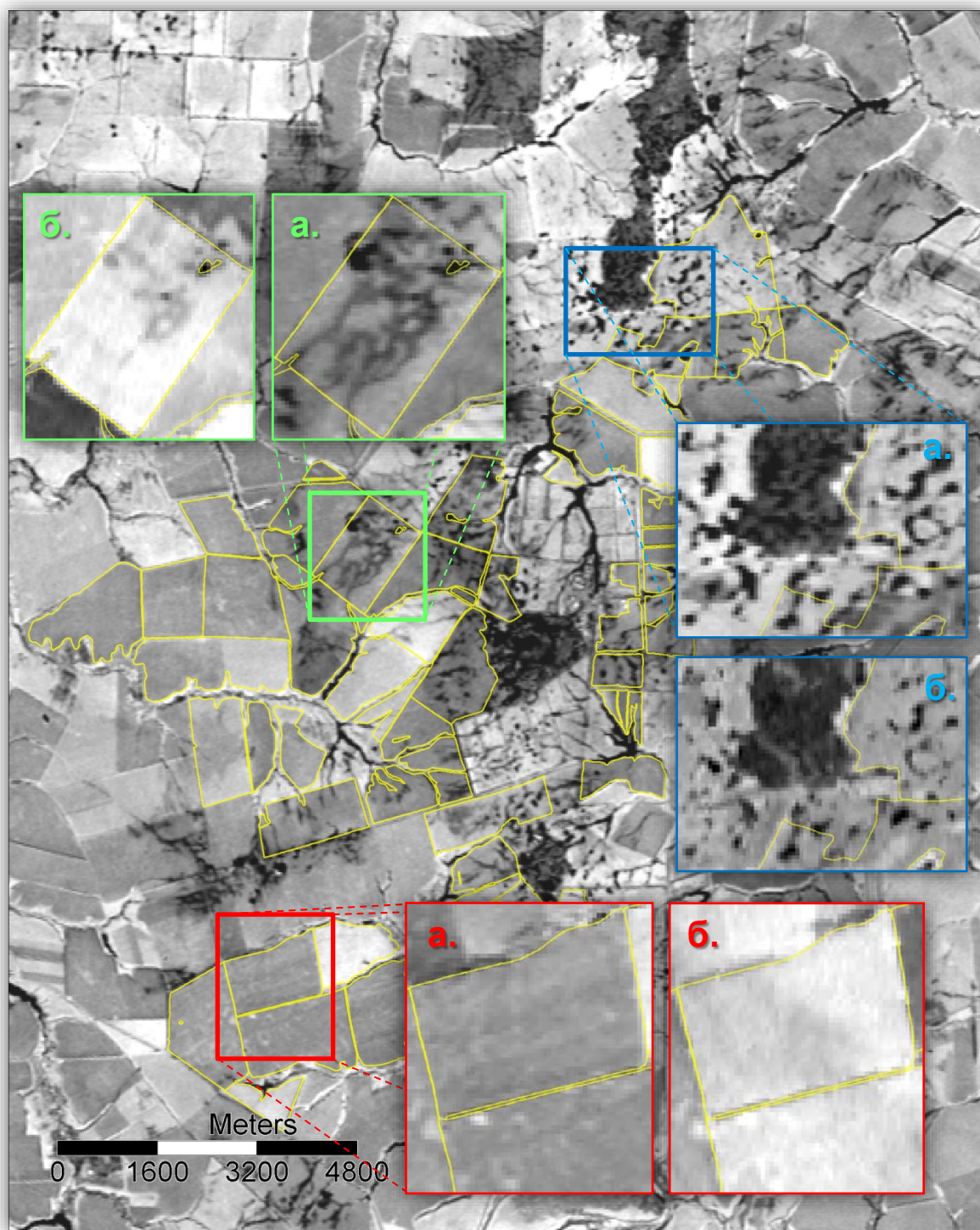


Рис. 5. Диагностика типов местности по разносезонным снимкам Landsat: плакорных ровнядей (красная рамка), ложбин и верховий балок (зеленая) и междуречных недренируемых с густой сетью термокарстовых и суффозионных западин (синяя). Приведены фрагменты двух снимков на один и тот же участок, отражающие динамику весеннего обсыхания: а) снимок 9 апреля 2002 г., б) снимок 04 мая 2002 г. Ареалы переувлажнения четко выделяются в виде темных пятен.

Для характеристики мезорельефа Вороно-Цнинского междуречья была построена цифровая модель рельефа по высотным отметкам топографической карты ВИСХАГИ с основным сечением горизонталей 2.5 м (**рис. 6**). Привязка фотографий фрагментов карты к космическому снимку сверхвысокого разрешения и векторизация высотных отметок выполнена в программе QGIS. Помимо исходных горизонталей проводились дополнительные горизонтали с сечением 1.25, 0.62, 0.31 и 0.15 м. Затем в SAGA узлы полилиний переводились в точки со значениями высот и проводилась интерполяция ординарным кригингом с пространственным разрешением 25 м.

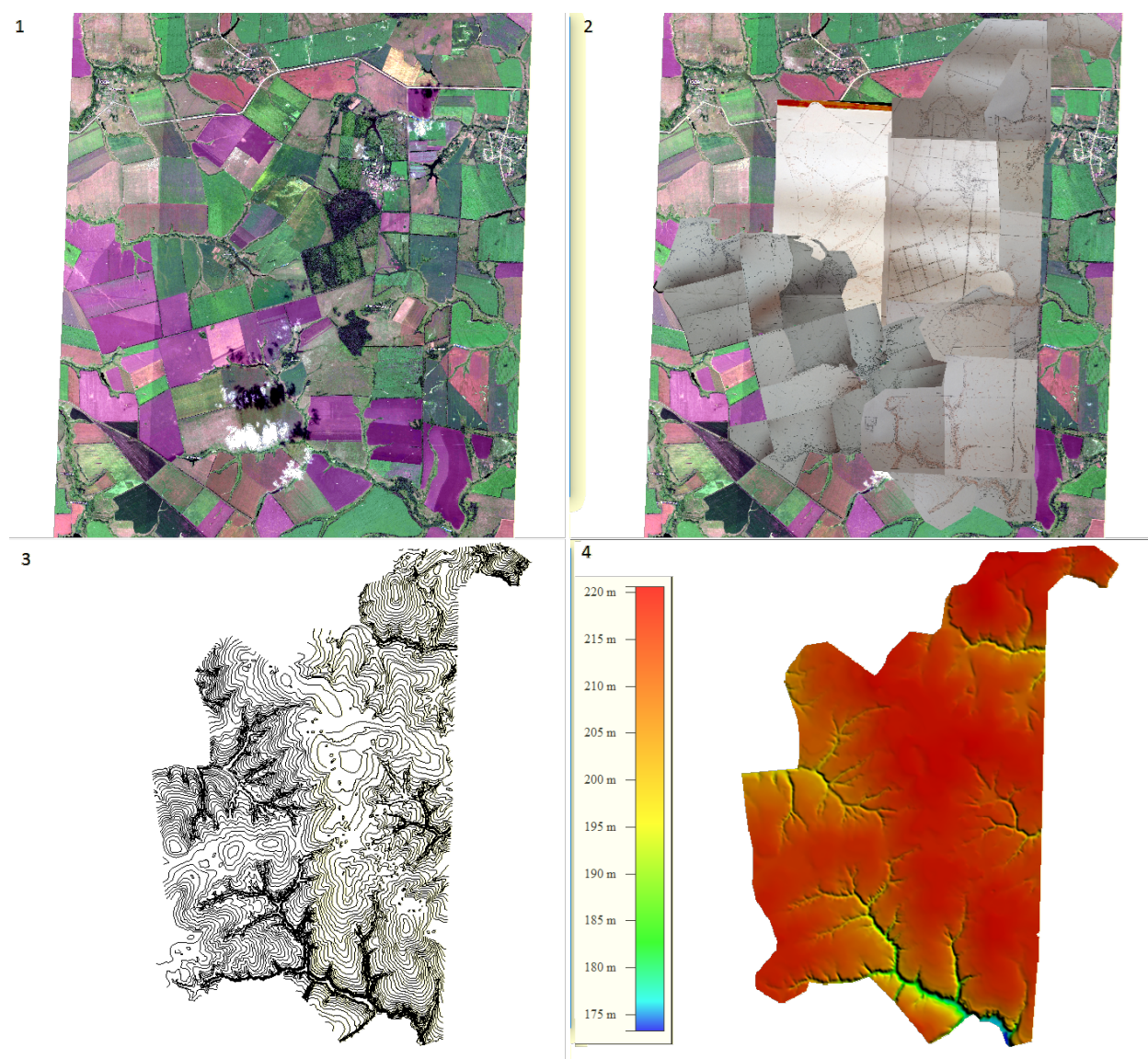


Рис.6. Построение цифровой модели рельефа междуречья Цны и Вороны по высотным отметкам топографической карты ВИСХАГИ: 1) космический снимок из сервиса Yandex, 2) привязанные фрагменты топографической карты, 3) векторизованные высотные отметки, 4) поле высот цифровой модели рельефа

Во время зимней экспедиции была продолжена начатая в предыдущие годы топографическая съемка ключевого участка при помощи высокоточного ГНСС комплекта Stonex S9 III+. Было снято более 1000 пикетов по регулярной сетке с шагом 25 метров (рис. 7). Уравнивание значений абсолютной высоты и координат пикетов проводилось автоматически через базовую станцию из того же комплекта, установленную на участке во время съемки. Полученные значения абсолютной высоты, имеющие географическую привязку, выкачивались из приемника и после перевода в формат Shapefile обрабатывались и визуализировались в ГИС-пакетах SAGA и Quantum GIS. Построение ЦМР с пространственным разрешением 20 м на ключевой участок проводилось в программе SAGA GIS путем интерполяции по точкам значений абсолютной высоты методом ординарного кригинга (рис. 8).

На основе ЦМР рассчитаны производные морфометрические величины, описывающие перераспределение стока по элементам микрорельефа: относительные превышения в окрестности 100 м (рис. 9), крутизна, водосборная площадь и др. С их учетом выбирались места для заложения почвенных разрезов, буровых и мест отбора проб пахотного горизонта для оценки продолжительности весеннего переувлажнения по значению коэффициента степени гидроморфизма.

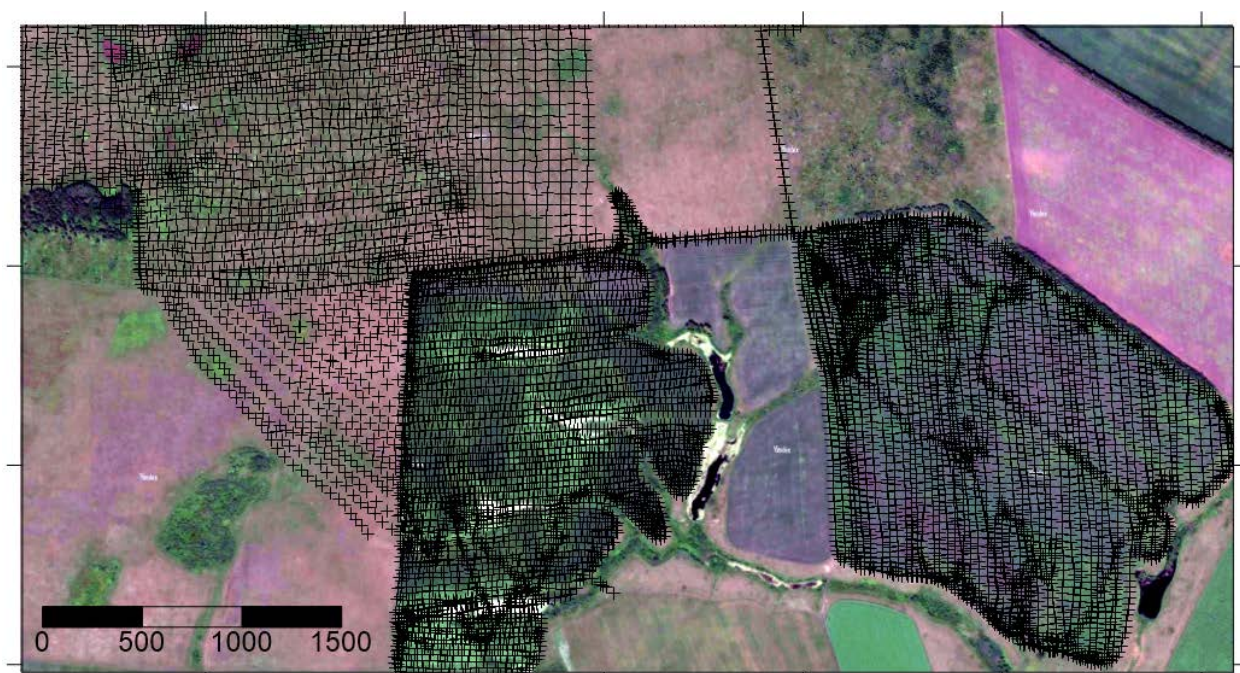


Рис. 7 Пикеты детальной топографической съёмки ключевого участка в недренируемом типе местности

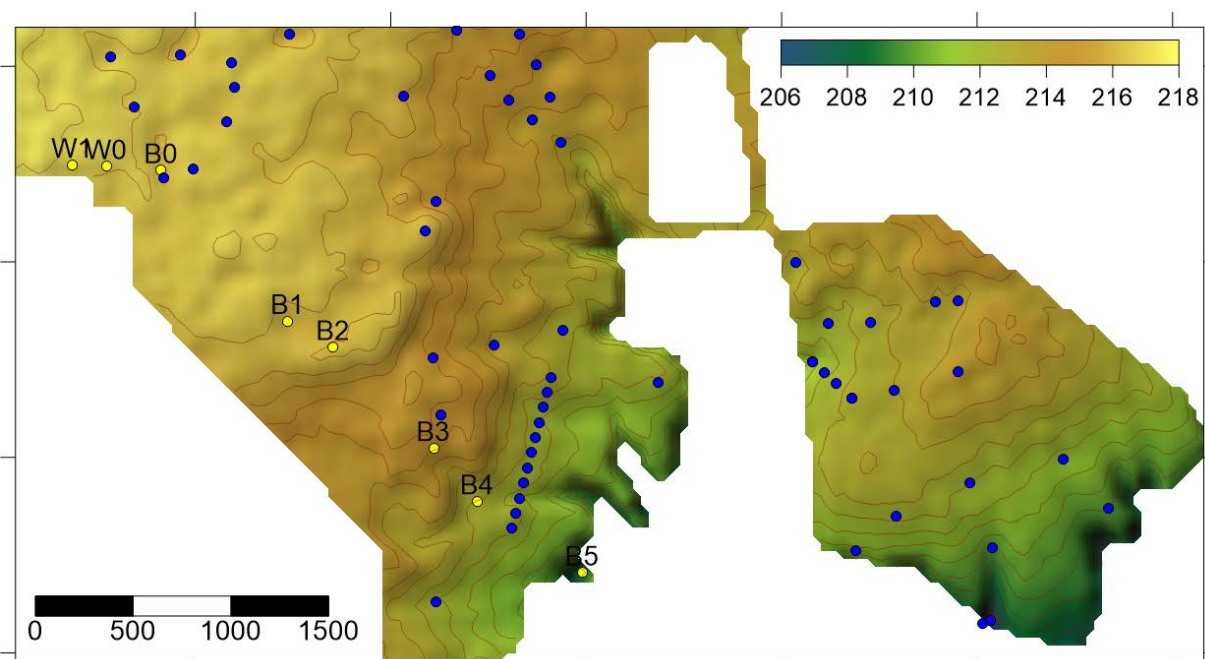


Рис. 8 Цифровая модель рельефа ключевого участка недrenируемого междуречья и приводораздельных склонов. Желтые точки – места заложения почвенных разрезов и буровых скважин; синие – места отбора проб на коэффициент степени гидроморфизма и измерения уровня грунтовых вод.

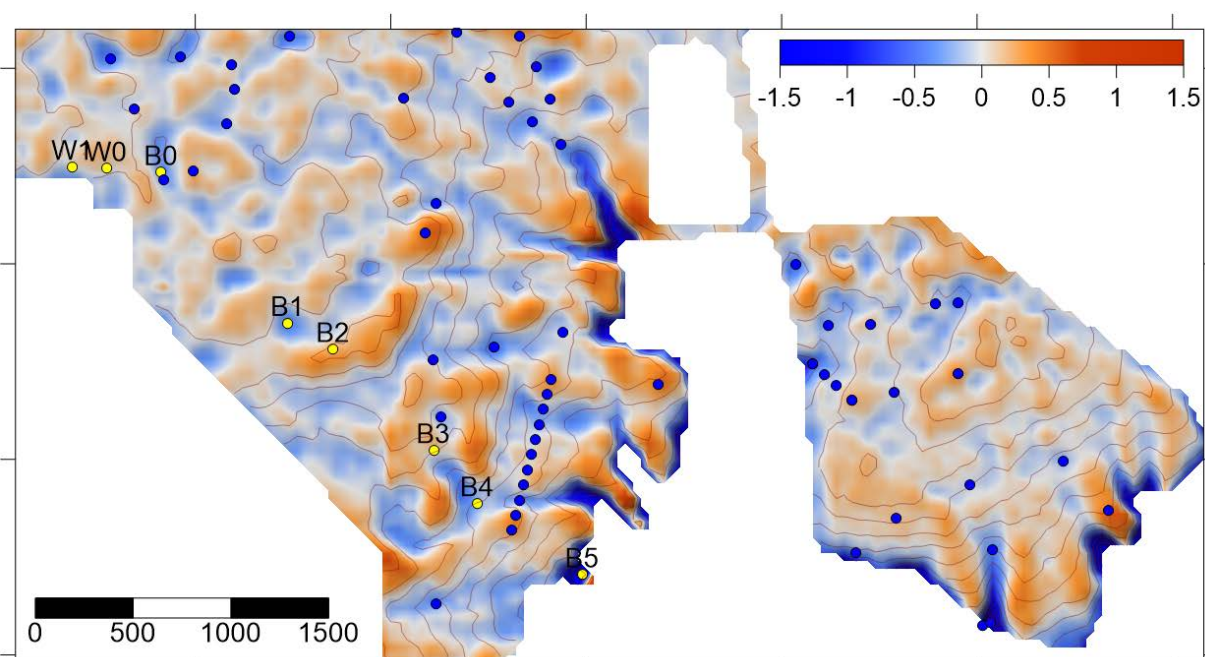


Рис.9. Относительные превышения в окрестности 100 м, м

На камеральном этапе средствами регрессионного анализа устанавливалось соответствие между пространственным варьированием коэффициента степени гидроморфизма и уровня грунтовых вод с морфометрические величины. На основе полученных регрессионных зависимостей целевые показатели водного режима прогнозировались с контролируемой точностью для каждого элемента ЦМР (см. главу 3).

Методы отбора проб и проведения лабораторных анализов

Лазерный дифракционный анализ гранулометрического состава почв и отложений выполнен на приборе Analysette 22 MicroTec plus с блоком диспергирования в жидкости – Wet Dispersion Unit. Лазерная дифракция — метод, основанный на зависимости угла рассеяния света от их размеров (чем больше размер, тем меньше рассеяние). Сквозь кювету с исследуемым образцом проходит лазерный луч, интенсивность рассеянного света снимается с фоточувствительного детектора. Расчеты ведутся по методу Фраунгофера. В результате определяется процентное содержание стандартного набора фракций, затем качественно анализируемые в виде спектра или путем их перевода в типы отложений по гранулометрическому составу. Однако методика такого перехода довольно спорна.

Анализ ионного состава почвенно-грунтовых вод проводился методом капиллярного электрофореза на приборе «КАПЕЛЬ» в гидрохимической лаборатории кафедры гидрологии суши. Группы ионов по заряду разделяются под воздействием электричества. В свете ультрафиолетовой лампы происходит фотометрическое детектирование групп ионов, которые выделяются в пики на диаграмме. Анализ происходит в два этапа: отдельно определяются анионы и катионы. Количественный расчет производится по сравнению с детектированием для стандартной пробы. Для выявления содержания гидрокарбонатных ионов в пробах был применен объемный ацидиметрический метод титрования. Концентрация гидрокарбонатов определяется по количеству кислоты, затраченной для получения реакции. Отбор проб почвенно-грунтовых вод осуществлялся в скважинах вакуумным насосом «Малыш», либо пластиковой бутылкой объемом 0,5 л. Конструкция вынималась из буровой, вода из бутылки сливалась в емкость для проб.

Определение плотности и запаса влаги в снеге проводилось с помощью весового снегомера ВС-43. Цилиндр погружают в снег заточенным краем до соприкосновения с поверхностью почвы и отсчитывают высоту снежного покрова по шкале, нанесенной на внешнюю сторону цилиндра. После этого лопаткой, входящей в комплект снегомера, очищают снег с одного бока снегомера, затем аккуратно подсовывают лопатку под цилиндр таким образом, чтобы весь снег, заключенный в цилиндре, остался внутри него. Не отнимая лопатки, вынимают цилиндр и переворачивают его крышкой вниз. Затем подвешивают снегомер за дужку на крючке весов; после, став спиной к ветру и держа весы за кольцо в руке, уравнивают цилиндр со снегом при помощи передвижного

груза и записывают деление линейки, против которого установилась риска грузика. При снегомерной съемке непосредственно на месте измерялись следующие параметры: высота снежного покрова (см) и вес снега внутри снегомера (значения по весам). Камеральный этап работы заключался в расчете плотности снега (г/см^3) при помощи формулы $\rho = (M \cdot h)/10$, где M – отсчет по плотномеру, h – высота снежного покрова; также был рассчитан влагозапас при помощи формулы $\text{SWE} = (10 \cdot \rho \cdot h)/1000$ (ρ воды).

Для характеристики водного режима почв, степени их переувлажнения и заболоченности использован **коэффициент степени гидроморфизма (КСГ)**, предложенный Л.В. Степанцовой и В.Н. Красиным (Зайдельман и др., 2013, стр. 158). Его определение основано на соотношении оптических плотностей гумусовых кислот I (свободной – связанной с несиликатными формами железа и алюминия) и суммы I и II фракций (свободной и связанной с кальцием). При определении КСГ используются две двухграммовые навески воздушно-сухой почвы, одна из которых заливается 50 мл раствора гидроксида натрия, другая – тем же количеством щелочного раствора пирогенфосфата натрия. Затем вытяжки отстаиваются в течение 15-18 часов, после чего фильтруются, разбавляются дистиллированной водой в зависимости от насыщенности окраски раствора, наконец, фотометрируются синим светофильтром (длина волны 440 нм). КСГ рассчитывается по формуле $\text{КСГ} = 10 \cdot D_1 \cdot F_1 / (D_2 \cdot F_2)$, где D_1 – оптическая плотность щелочной вытяжки (0.1 н NaOH), D_2 – оптическая плотность щелочной пирогенфосфатной вытяжки (44.4 г $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и 4 г NaOH), F_1 и F_2 – соответствующие разбавления (в 2-25 раз разбавляется щелочная вытяжка в зависимости от насыщенности окраски, в 25 раз разбавляется щелочная пирогенфосфатная вытяжка). Пробоподготовка проб и измерения проводились в лаборатории Почвенного института РАН под руководством младшего научного сотрудника Е.А. Новичковой. Всего было выполнено определение K_{I-II} для 41 образца. Результаты показали варьирование коэффициента от 0.2 до 9.2.

В ходе экспедиции решалась методическая задача – **оценка информативности подповерхностного зондирования** в зимних условиях при тяжелосуглинистом механическом составе отложений. Было необходимо установить, возможно ли отбить границу промерзания грунта (на примерной глубине 0,5 м) и уровня грунтовых вод (от 1,5 до 4 м). Работа велась георадаром ОКО-2 с двумя антеннами (250 и 700 МГц) вдоль профиля длиной 2 км от междуречья к местному базису эрозии с непрерывным шагом и настройками сканирования, соответствующими тяжелосуглинистому грунту.

Анализ радарограмм показал, что затухание сигнала происходит около 0,5 м. И единственная четкая граница – граница между почвой и снегом. Так же на глубине около 30 – 40 см не на всей радарограмме можно проследить границу мерзлоты. У такого быстрого затухания волны есть 2 причины: 1) Тяжелый суглинок содержит много воды и тем самым является очень труднопроходимым для волн используемой частоты. 2) При прохождении волны через разные среды (снег-грунт, мерзлый-грунт – не мерзлый грунт) теряется около 70% энергии и происходит затухание. Вывод: ограничениями для подобного исследования является сам субстрат, создающие дополнительные барьеры среды, что делает невозможным получение радарограмм, информативных для поставленных задач, в зимний период. Возможно, в летний период, наиболее сухой, когда почвенная толща будет однородной и менее насыщенной влагой, могут получиться более информативные радарограммы.

Глава 3. Структурно-функциональная организация междуречного недренированного типа местности

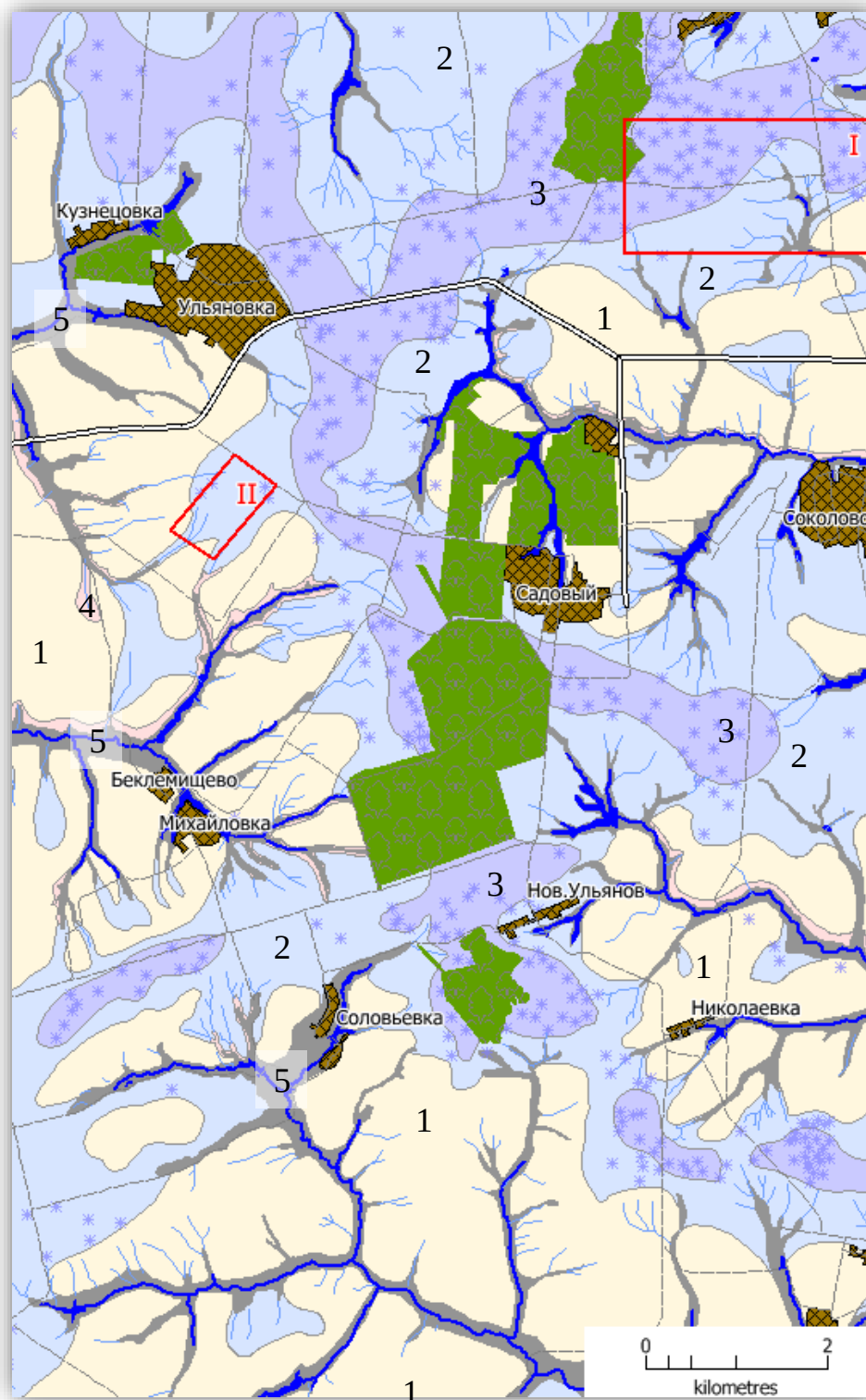


Рис. 10 Типы местности Вороно-Цнинского междуречья: 1) междуречных недренируемых с густой сетью термокарстовых и суффозионных западин, 2) плакорных слабонаклонных равнин замедленно дренируемых, 3) плакорных дренируемых слабонаклонных равнин и пологих склонов, 4) склоновых, 5) элементы овражно-балочной

сети. а – соффозионные и термокарстовые западины, б – эрозионные ложбины. I,II – ключевые участки.

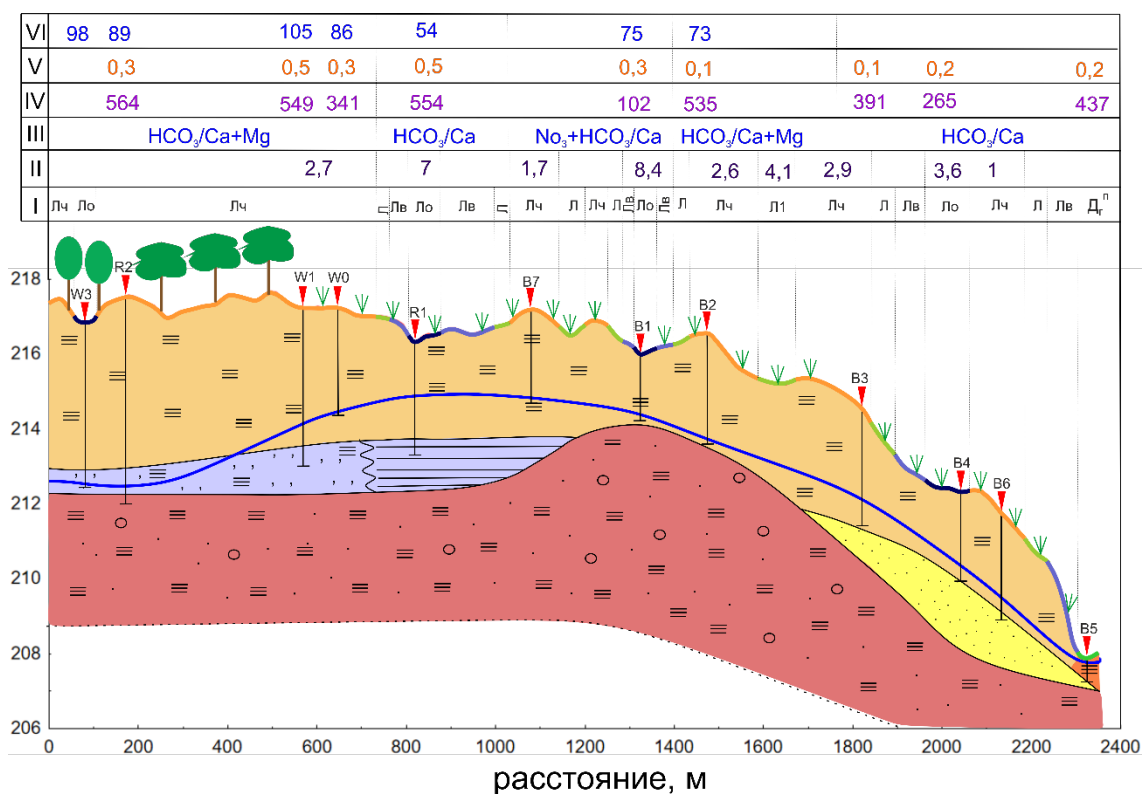
Наиболее контрастный почвенный покров присущ плоским субгоризонтальным междуречным равнинам с грунтовыми водами в пределах почвенного профиля (2-3 м). Среди луговато-черноземных глубокооглеенных и глееватых почв по днищам западин и ложбин располагаются пятна луговато-черноземных оподзоленных и лугово-черноземных почв разной степени оглеения.

Промежуточное положение занимает тип местности плакорных слабонаклонных равнин замедленно дренируемых, занимающий 30% пашни (1486 га) в пределах слабонаклонных (1-2°) равнин, рассеченных неглубокой эрозионной сетью верховий балок. При общем пониженном уровне грунтовых вод (3-5 м) в многочисленных водосборных понижениях и ложбинах развивается весеннее переувлажнение до 1 месяца. В условиях водозастойно-промывного натежного увлажнения формируются луговато-черноземные подзолистые и оподзоленные выщелоченные почвы разной степени оглеения, занимающие 30-50% площади этой группы земель. Фоновые почвы – луговато-черноземные глубокоглееватые.

Наконец, эрозионный тип местности (4% или 131 га) вдоль выраженных элементов овражно-балочной сети характеризуются чередованием слабо-, среднесмытых почв на выпуклых элементах прибалочных склонов со смыто-намытыми и намытыми лугово-черноземными почвами на вогнутых элементах.

Комплексная съемка ключевого участка (участок I на рис. 10) в недренируемом типе местности позволила выявить некоторые аспекты его структурно-функциональной организации, отраженные на комплексном профиле (**рис. 11**).

Междуречный недренированный тип местности можно разделить на несколько относительно однородных по структуре и типу функционирования участков. Плоское междуречье под лесом формируется на тяжелом лессовидном суглинке, подстилаемом озерными пылеватыми тяжелыми суглинками и опесчаненной мореной. Результаты гранулометрического анализа для всех точек представлены на **рис. 12**. Формирование геосистем внутри урочища происходит в условиях относительно глубоко расположенных грунтовых вод, что обусловлено активной транспирацией влаги дубовыми лесами. Слабое проявление гидроморфизма индицируется по наличию железо-марганцевых новообразований (до 1 мм) в горизонте В. В таких условиях формируются почвы, близкие по морфологии к черноземам выщелоченным, но, вследствие наличия признаков оглеения в нижней части профиля, типизируемые как луговато-черноземные.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Растительность

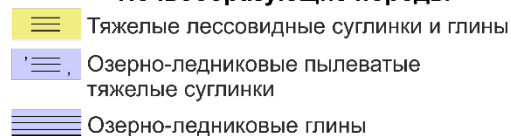


▼ Культурная растительность

Точки почвенного опробования

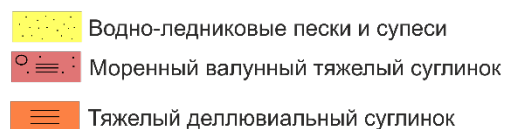
▼ R1 Разрезы ▼ B1 Буровые

Почвообразующие породы



Почвы

— Луговато-черноземные (Лч)
— Луговые (Л)
— Луговые выщелоченные (Лв)
— Луговые оподзоленные (Ло)
— Перегнойные дерново-глеевые (Д_г^п)



Прочие обозначения

— Уровень грунтовых вод
I Подтипы почв
II Коэффициент степени гидроморфизма
III Макроэлементный состав почв
IV Минерализация, мг/л
V Sodium Absorption Ratio (SAR)
VI Влаagoзапас снега, мм

Рис. 11 Комплексный профиль от недренируемого междуречья к местному базису эрозии на ключевом участке I

В западинах глубиной до 1 метра вследствие регулярного подтопления и в общем более высокой влажности не могут существовать полноценные дубовые леса, сменяемые осинниками. Но они также не способны переносить долгое переувлажнение без последствий и выпадают во все ветровалы или особенно влажные годы.

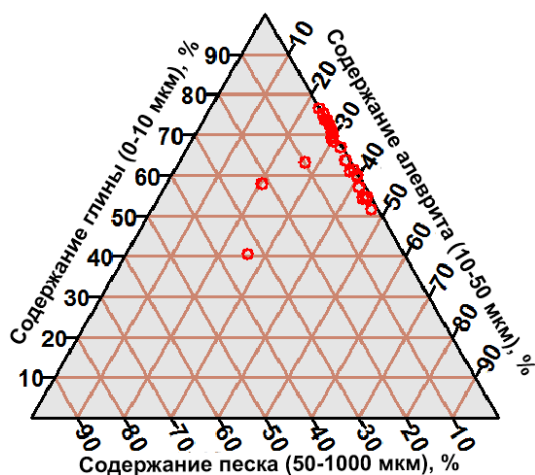


Рис. 12 Гранулометрический состав почв и отложений по Н.А. Качинскому
Красные кружки – пробы почв и отложений

Геосистемы плоского недренируемого распаханного междуречья имеют признаки как поверхностного, так и грунтового переувлажнения, что связано с близким залеганием грунтовых вод на водоупоре из легких и средних глин озерного генезиса, препятствующий фильтрации влаги вглубь почвы и являющихся поверхностью течения грунтовых вод. Весомый вклад в поднятие УГВ оказывает отсутствие транспирации древесной растительностью, компенсировать которую сельскохозяйственная растительность не в состоянии. Суффозионные западины, повсеместно встречающиеся на междуречьях, выступают как локальные зоны аккумуляции влаги, еще больше усиливая степень увлажнения ПТК. В таких экстремальных условиях происходит, во-первых, активное физическое вымывание илистых частиц вниз по почвенному профилю, что утяжеляет гранулометрический состав почв в нижней части профиля (до легкой глины), во-вторых, процесс оподзоливания, следы которого хорошо заметны в разрезе R2 в горизонте A1A2. Луговые оподзоленные почвы западин имеют очень малую для этой зоны мощность гумусового горизонта (28 см) и все признаки оглеения по всему профилю – железо-марганцевые конкреции, сизые пятна. Коэффициент степени гидроморфизма хорошо индицирует увеличение гидроморфизованности западных комплексов ($K_g = 7$) комплексов по сравнению с более высокими плоскими позициями ($K_g = 2,7$). Сельскохозяйственная пригодность таких геосистем крайне низка, а во влажные годы они совершенно непродуктивны.

Значительные различия влажности в почвах разных геосистем хорошо заметны на профиле запасов влаги в почве (рис. 14). Самый большой запас в метровом слое зафиксирован в разрезе R1 (255 мм), причины чего были описаны выше. Несколько меньше запас в разрезе R2 (225 мм). Наименьший запас влаги обнаружен в почвах

плакорного типа местности в разрезе R3 (207 мм), что подтверждает представление об увлажненности изучаемой территории.

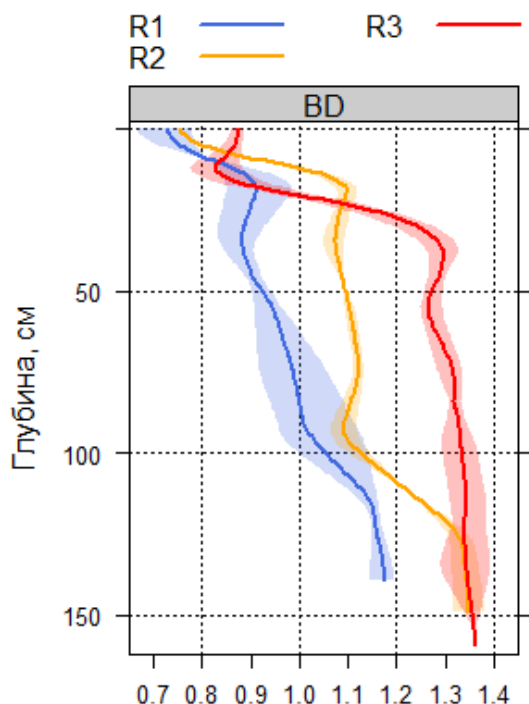


Рис. 13 Профильное распределение объемного веса почв, г/см³

R1 – почвенный разрез на пашне в недренируемом типе местности, R2 – почвенный разрез в лесу в недренируемом типе местности, R3 – разрез на пашне в плакорном типе местности

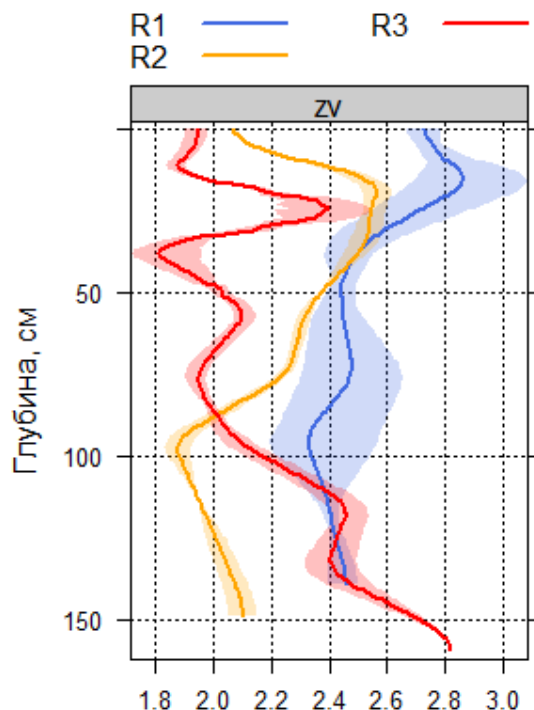


Рис. 14 Профильное распределение запасов влаги в 1-см слое почв, мм

Различия механического состава озерных отложений связано с неоднородностью условий осадконакопления в приледниковых бассейнах. Глины накапливались в спокойном холодном бассейне, сперва образовавшемся на поверхности ледника, по мере его таяния спроецированного на дневную поверхность, а тяжелые суглинки – в послеледниковое время в условиях меньшей стабильности водных масс и эолового привноса алевритистых частиц.

Выпуклые части междуречий менее гидроморфизованы, даже несмотря на близость грунтовых вод, что связано с перераспределением атмосферных осадков в подчиненные позиции микрорельефа, индицируемое невысоким коэффициентом степени гидроморфизма ($K_g = 2,6$). Однако, из-за наличия грунтового переувлажнения, в почвенном профиле в горизонте В появляются признаки оглеения. Формирующиеся здесь луговато-черноземные почвы имеют мощный гумусовый горизонт (70 см) и в сухие годы могут быть особенно продуктивны.

На склонах к местному базису эрозии меняется характер напластования отложений. Вместо морены покровный лессовидный суглинок подстилается водно-ледниковыми опесчаненными суглинками и песками мощностью до 3 метров. Сильно

гидроморфизованные луговые оподзоленные и луговые выщелоченные почвы распространены здесь значительно меньше вследствие наличия поверхностного стока, однако близость грунтовых вод всё равно обуславливает развитие сезонного переувлажнения, индицируемого по проявлению в почвенных профилях железо-марганцевых новообразований и неглубокому залеганию вторичных карбонатов (100 см), показывающих максимальное поднятие грунтовых вод весной. Было отмечено, что, несмотря на множественные признаки переувлажнения, коэффициент степени гидроморфизма даже уменьшается по сравнению с выпуклыми частями междуречий и колеблется в пределах от 1 до 4, что противоречит представлениям об изменчивости этого показателя. Была выдвинута гипотеза, что на отсутствие изменения фракционного состава гумуса, по которому рассчитывается коэффициент, не происходит вследствие воздействия засоленных вод, однако расчет показателя Sodium Absorption Ratio показал отсутствие признаков засоления вод ($SAR = 0,1 - 0,5$). Поэтому более вероятной причиной занижения КСГ может быть аналогичное влияние гидрокарбонатов кальция и магния, абсолютно преобладающих в гидрохимическом составе воды.

Геосистемы днищ балок формируются в условиях практически круглогодичного переувлажнения, стояния грунтовых вод на поверхности или близко к поверхности и наличия постоянного привноса делювия со склонов и пролювия во время снеготаяния. Значительная травянистая биомасса (в основном, Тростник обыкновенный, лат. *Phragmites australis*) не успевает полностью разложиться, создавая сорокасантиметровый слой перегноя на тяжелом делювиальном суглинке и формируя перегнойные дерново-глеевые почвы.

Снегомерная съемка показала следующие результаты: неоднородность высоты и массы снега в лесу связана с разной плотностью древесного яруса, на поле – с метелевым переносом. В лесу мощность снега в среднем выше, чем на поле (37,7 см против 34,2 см), в лесу и на поле приблизительно равная масса снега (88 г против 87 г), на поле в среднем выше плотность снега (0,26 г/см³ против 0,23 г/см³), а показатель влагозапаса в лесу и на поле одинаков (88,1 мм против 87,1 мм).

Общая минерализация почвенно-грунтовых вод колеблется в пределах 300-500 мг/л, что в целом соотносится с общей минерализацией вод северной лесостепи Тамбовской области (190-350 мг/л). Исключение составляет западина с минерализацией 102 мг/л. Данный минимум объясняется натеком в понижение талых снежных вод, понижающих минерализацию. Наблюдается также тенденция снижения минерализации при движении вниз по склону (ряд буровых В2-В4); содержание ионов увеличивается в В5, что связано с трансаккумулятивной позицией.

Среди анионов преобладают гидрокарбонаты. Большую часть катионов составляют ионы кальция, для локальных повышений свойственно также увеличение количества магния. Концентрация гидрокарбонатных ионов пропорциональна общей минерализации. Содержание гидрокарбонатов уменьшается при движении вниз по склону, однако увеличивается при достижении базиса эрозии (днище балки).

В западине на междуречье отмечено повышение концентрации нитратов. Это объясняется притоком азотных удобрений в локальную депрессию, то есть является результатов антропогенных преобразований ландшафта.

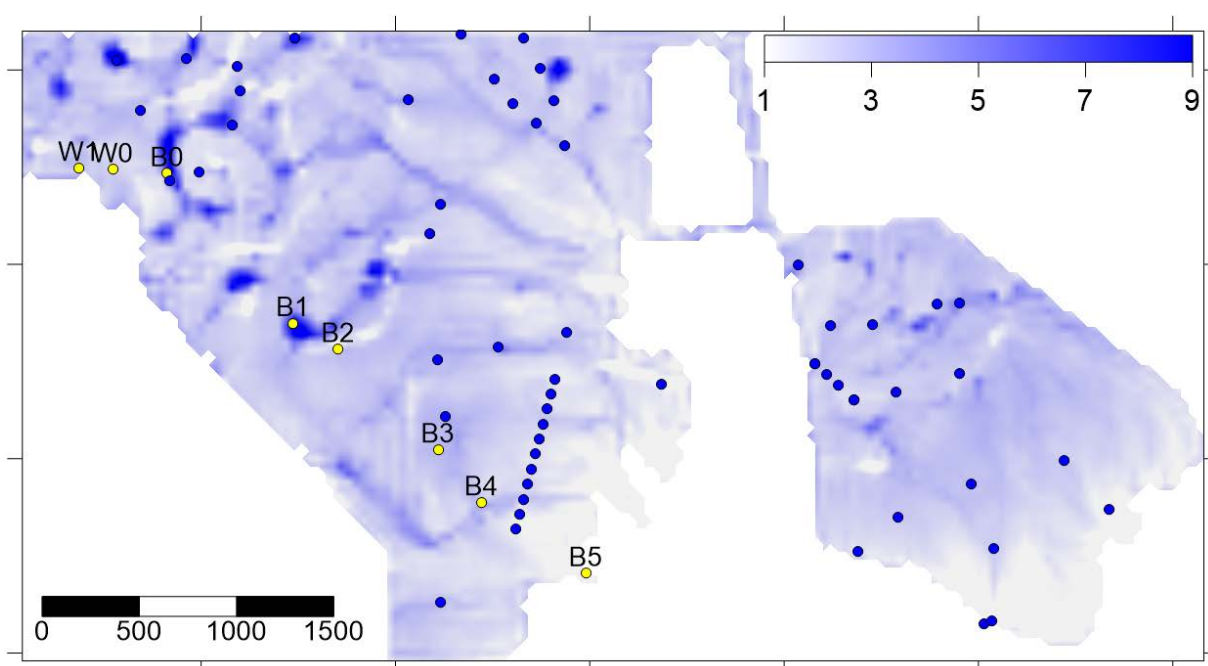


Рис. 15 Карта коэффициента степени гидроморфизма (КСГ) недренируемого участка изучаемой территории

Карта коэффициента степени гидроморфизма, представленная на **рис.15**, составлена по результатам химического анализа проб путем составления регрессионной модели связи геоморфометрических характеристик и КСГ ($R^2=0,8$). На ней хорошо видно, что на плоском недренируемом междуречье коэффициент варьирует в пределах 3-7, в западинах увеличивается до 6-9, а на склонах к балке уменьшается до 1-3. Полученная карта достаточно достоверно отражает реальное варьирование изучаемого показателя.

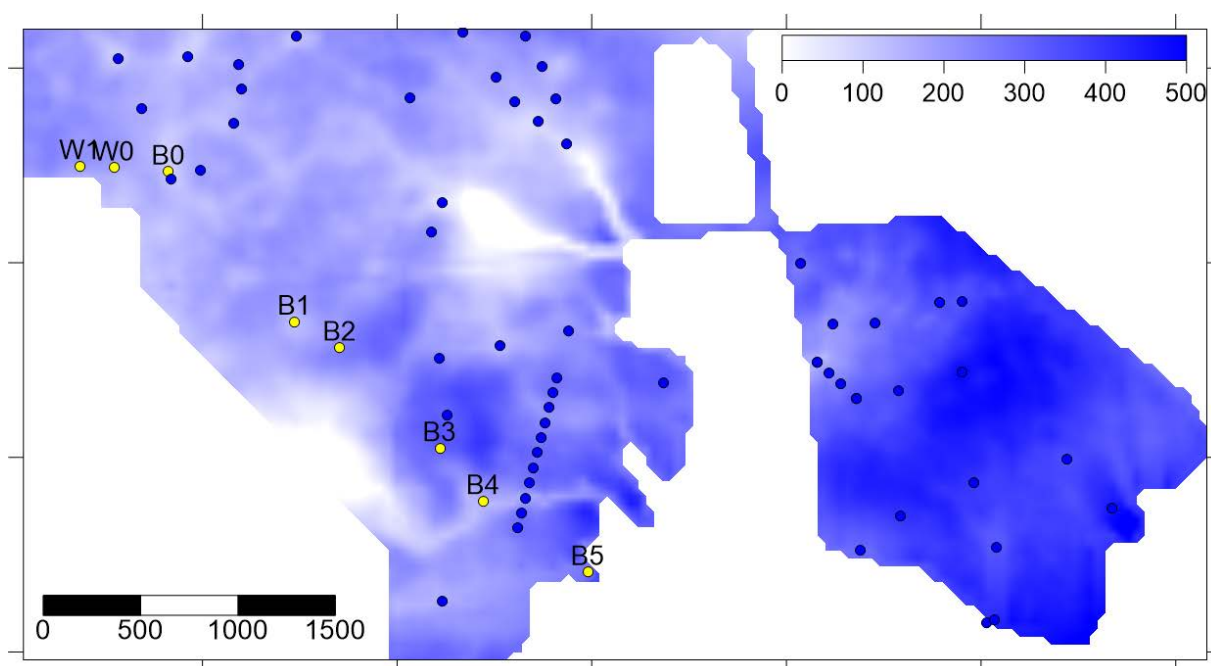


Рис. 16. Карта уровня грунтовых вод (см) на недренируемом и эрозионном участках изучаемой территории

Карта уровня грунтовых вод, показанная на **рис. 16** построена методом пошагового регрессионного анализа ($R^2=0,53$) на основании полевых данных. По ней видно близкое положение грунтовых вод на плоском недренируемом междуречье (200-250 см) и очень близкое (<150 см в западинах). Полученная карта будет использоваться как пробная для будущего более точного моделирования соотношения рельефа и уровня грунтовых вод.

Заключение

Характерной чертой Вороно-Цнинского лесостепного междуречья является продолжительное весеннее переувлажнение и, как следствие, широкое распространение гидроморфных почв черноземного ряда. Развитию гидроморфизма способствует повышенная норма годовых осадков (500-520 мм, до 800 мм в отдельные годы) в связи с возвышенным положением, глинистый состав почвообразующих пород с дополнительным водоупором на контакте с донской мореной. Доминантными почвами здесь являются лугово-черноземные глееватые с участием оподзоленных и подзолистых. При этом на существующих картах почвенный покров Вороно-Цнинского региона показан преимущественно черноземами слабо-, средне- и сильновыщелоченными с участками типичных, что существенно искажает действительность.

В пределах дренируемых междуречных равнин с уклонами 1-3°, рассеченных глубокими балками, уровень грунтовых вод опущен глубже 5 м. Фоновые почвы здесь – луговато-черноземные глубокоголееватые. В отдельных водосборных понижениях при дополнительном натежном увлажнении встречаются луговато-черноземные глееватые и оподзоленные почвы. В приводораздельной части междуречий, замедленно дренируемых

неглубокой сетью верховий балок, в многочисленных водосборных понижениях и ложбинах развивается весеннее переувлажнение до 1 месяца. В условиях застойно-промывного водного режима формируются луговато-черноземные подзолистые и оподзоленные почвы разной степени оглеения. Для недренируемых субгоризонтальных междуречий с грунтовыми водами в пределах почвенного профиля (2-3 м) характерны лугово-черноземные глееватые почвы. По днищам западин и ложбин располагаются пятна луговых, луговых выщелоченных и оподзоленных почв разной степени оглеения. Вдоль коротких прибалочных склонов чередуются слабо-, среднесмытые, смыто-намытые и намытые луговато-черноземные глубокоглееватые почвы. Все перечисленные закономерности показаны на картах типов местностей Вороно-Цнинского междуречья (М 1:50 000) и фаций трех ключевых участков (М 1:10 000). В прикладном отношении полученные сведения будут использованы для обоснования агроэкологической группировки земель и оптимизации их использования.

Список литературы

1. Классификация и диагностика почв СССР. М.: «Колос», 1977.
2. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. 1990. 200 с.
3. Система земледелия и землеустройство совхоза «Подвигаловский» Кирсановского района Тамбовской области // Агропромышленный комитет Тамбовской области, 1986. 174 с.
4. Степанцова Л.В. Агрофизические свойства, гидрологический режим и диагностика черноземовидных почв севера Тамбовской низменности. Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. док. биол. наук. М. 2012. 47 с.
5. Тамбовская лесостепь: природа и общество: монография / науч. ред. Н.И. Дудник, отв. ред. Е.Е. Инякина, С.В. Панков ; М-во обр. и науки РФ [и др.]. Тамбов : Издательский дом ТГУ имени Г.Р. Державина, 2013. 320 с.
6. Черешинский А.В, Глушков Б.В.. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Воронежская. Лист N-37-XXXI (Малоархангельск). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2009. -174 с.