

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА**

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Щерба ТахирЭдуардович

**ПРОЯВЛЕНИЯ ОПУСТЫНИВАНИЯ В ПОЧВАХ И ИХ
ДИАГНОСТИКА**

специальность 03.02.13 - почвоведение

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
Г.С. Куст

Москва – 2016г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Цель и задачи исследования.	8
ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ ПОЧВ (литературный обзор).	10
1.1. Понятие «опустынивание».....	12
1.2. Методологические подходы к пониманию и использованию термина «опустынивание». Роль почв в явлении опустынивания.	17
1.3. Опустынивание почв.	21
1.4. Процессы опустынивания почв.	28
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	30
2.1. Обоснование выбора объектов исследования.....	30
2.2. Описание объектов исследования.	31
2.2.1. Степное Заволжье (на примере участков, расположенных на территории Приволжской оросительной системы).	31
2.2.2. Сухостепное Заволжье (на примере участков, расположенных в Палласовском районе Волгоградской области).	32
2.2.3. Северный Прикаспий (на примере участков в Светлоярском районе Волгоградской области, Черноморском и Енотаевском районах Астраханской области).	35
2.3. Методы исследования.....	36
ГЛАВА 3. ПРОЯВЛЕНИЯ ОПУСТЫНИВАНИЯ В ПОЧВАХ.....	43
3.1. Роль структуры почвенного покрова при изучении опустынивания почв.	43
3.2. Засоление.	46
3.2.1. Опустынивание почв при засолении.....	49
3.2.2. Подходы к оценке опустынивания почв при засолении.	52
3.2.3. Оценка опустынивания почв при засолении (на локальных примерах).	54

3.3. Осолонцевание.	68
3.3.1. Опустынивание почв при осолонцевании.	70
3.3.2. Оценка опустынивания почв при осолонцевании (на локальных примерах).	74
3.4. Опесчанивание.	82
3.4.1. Опустынивание почв при опесчанивании.	83
3.4.2. Подходы к оценке опустынивания почв при опесчанивании.	86
3.4.3. Оценка опустынивания почв при опесчанивании (на локальных примерах).	88
3.5. Водная эрозия.	92
3.5.1. Опустынивание почв при водной эрозии.	92
3.5.2. Оценка опустынивания почв при водной эрозии (на локальных примерах).	93
3.6. Теоретические аспекты изучения опустынивания почв при уплотнении и коркообразовании.	99
Опустынивание почв при уплотнении.	99
Опустынивание почв при коркообразовании.	104
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	108
ВЫВОДЫ.	116
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	118
ПРИЛОЖЕНИЯ.	132

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГГК по ГСО	Гумусово-глинистые кутаны по граням структурных отдельностей
КБОООН	Конвенция по борьбе с опустыниванием Организации Объединенных Наций
ООН	Организация Объединенных Наций
ОГХ	Основная гидрофизическая характеристика
ОДЗЗ	Опустынивание, деградация земель и засуха
ФАО (FAO)	Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
AGTE	Advisory group of technical experts
DLDD	Desertification, land degradation and droughts
DPSIR	Driving Force – Pressure – State - Impact - Response
DPSheIR	Driving Force – Pressure – State - human and environmental Impact - Response
LADA	Land Degradation Assessment in Drylands

ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией последних десятиков лет является многократный рост численности населения Земли, что на фоне ограниченного количества ресурсов нашей планеты порождает в первую очередь продовольственную проблему. В этой связи является критически важным грамотное и рациональное использование каждого, потенциально плодородного участка суши. Опустынивание является одним из самых ярких примеров комплексной деградации почв, включающее в себя такие неблагоприятные процессы как эрозия, дефляция, засоление, осолонцевание, переуплотнение и др.

В Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием явление опустынивание определяется как «деградация земель в аридных, субаридных и засушливых субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека» (Конвенция..., 1994).

По данным ООН (Факты..., 2010), на засушливые районы приходится до 43 процентов возделываемых земель в мире. Деградация земель приводит к потерям сельскохозяйственной продукции на сумму примерно в \$42 млрд в год. Около трети всех возделываемых земель в мире в последние 40 лет были заброшены по причине утраты своей продуктивности в результате эрозии почвы. Ежегодно еще 20 млн. гектаров сельскохозяйственной земли настолько деградируют, что перестают использоваться для выращивания сельскохозяйственной продукции либо поглощаются городами вследствие ускорения темпов урбанизации.

В течение последних трех десятилетий необходимость увеличения объемов сельскохозяйственного производства, для того чтобы прокормить растущее население Земли, оказывала все большее давление на земельные и водные ресурсы. По сравнению с 1970 годами в настоящее время прокормить необходимо на 2,2 млрд. человек больше. До сих пор темпы производства продовольствия не отставали от темпов роста численности населения, однако

продолжающееся его увеличение означает, что в ближайшие 30 лет нам может потребоваться на 60 процентов больше продовольствия. В той или иной степени опустынивание имеет место на 30 процентах искусственно орошаемых земель, 47 процентах увлажняемых природными осадками сельскохозяйственных угодий и на 73 процентах пастбищных угодий. Ежегодно от 1,5 млн. до 2,5 млн. гектаров орошаемых земель, от 3,5 млн. до 4 млн. гектаров сельскохозяйственных угодий, увлажняемых природными осадками, и около 35 млн. гектаров пастбищных угодий полностью или частично утрачивают продуктивность вследствие деградации земель (Факты..., 2010).

Сегодня проблемы аридного земледелия остаются самыми острыми и нерешенными в земледелии России. Более того, практическая работа по борьбе с засухами, опустыниванием территорий и деградацией почв в России за последние годы сильно ослабела, что грозит ухудшением экологической и экономической ситуации в южных регионах России. Анализ повторяемости засух на территории России за 1000 лет свидетельствует об их нарастании и усилении: XI век – 9 засух, XII-XV века – 12-13, XVI век – 20, XVII век – 21, XVIII век – 34, XIX век – 40, XX век – 57 засух (Повышение ..., 1999).

Наибольший прирост опустыненных земель в России за последние 30 лет произошел за счет деградации с/х угодий в аридных областях. Основными природными рискообразующими факторами являются здесь засушливость климата, геохимическая бессточность территории, высокая доля засоленных и солонцеватых почв в почвенном покрове, низкая биологическая продуктивность естественных фитоценозов, высокая ветровая активность. Главной причиной, ведущей к неблагоприятным изменениям, является пастбищная дигрессия, перевыпас и сбой пастбищ и неоправданная распашка легких почв, а также вторичное засоление, загрязнение почв, деградация растительного и животного мира, вырубку кустарниковой и древесной растительности, затопление и подтопление земель, техногенное

опустынивание под влиянием тяжелого транспорта, буровых и земляных работ, промышленного и гражданского строительства, социальная и профессиональная деградация культуры и образования местного населения, экономические трудности в сельском и промышленном производстве, демографический спад (Опустынивание ..., 2009).

По сведениям Г.С. Куста(1999), в России подвержено опустыниваниюили воздействию причин опустынивания около 1,23 млн. км², что составляет почти 7,2 % от площади Российской Федерации.

В России доля населения, проживающего на территориях, затронутых опустыниванием или риском опустынивания (немногим более 100 млн гектар в 27 субъектах Федерации) составляет 53,7% от общей численности населения России, из них 8,1 млн человек (5,6 - городское, 2,5 - сельское), или 5,6% от общей численности населения России проживает в регионах, подверженных актуальному опустыниванию (Отчет ..., 2014).

Г.В. Добровольский и Г.С. Куст (2002) отмечают, что «...общая площадь земель, подверженных опустыниванию, (в России) равна 1,3 млн. км². Эколого-экономический ущерб от опустынивания сельскохозяйственных угодий в России в последние 15-20 лет значителен и составляет в денежном эквиваленте 0,7 – 1,0 млрд. долл. США в год».

Исследование проявлений опустынивания на столь значительной площади требует разработки современных подходов к диагностике этого явления.

Большинство современных работ посвященных оценке опустынивания основываются на изучении картографических и эколого-генетических параметров(Андреева, 2002; Куст, 1999), при этом изучению почвенной составляющей опустынивания практически не уделяется внимания.

Исследование роли почв – важнейший этап при изучении явления опустынивания. При этом для комплексной диагностики опустынивания необходим выбор и обоснование соответствующих почвенных индикаторов.

В связи с этим, необходимо четкое закрепление места и роли почв в явлении опустынивания, и здесь возникают трудности уже на понятийном уровне.

Кроме того, в научной литературе нет общепринятого понимания и определения термину «опустынивание почв», адекватного понятию «опустынивание», принятому в Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБООН). Несмотря на то, что понятие «опустынивание почв» иногда используется, разные авторы вкладывают в него разное содержание.

Данная проблематика определила цели и задачи настоящего исследования.

Цель и задачи исследования.

Цель работы - установить и обосновать почвенные индикаторы для диагностики проявлений опустынивания в почвах при засолении, осолонцевании, опесчанивании, водной эрозии и других деграционных процессах.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить современное состояние научных исследований и методов диагностики деградации земель засушливых территорий на основании почвенных признаков, а также раскрыть содержание понятия «опустынивание почв»;
2. Определить и исследовать почвы ключевых участков с различными проявлениями опустынивания.
3. Исследовать диагностические показатели состояния почв, а также выявить почвенные индикаторы опустынивания для разных проявлений опустынивания почв.
4. Разработать алгоритм диагностики проявлений опустынивания почв по актуальным признакам деградации почв.

Научная новизна работы.

Показано, что, несмотря на разнообразие процессов деградации почв в засушливых регионах, их общие черты и результат, определяемый как «опустынивание», заключаются в создании условий, приводящих к дефициту влаги в почвах для растений в вегетационный период, что можно выразить с помощью основной гидрофизической характеристики (ОГХ) почв.

Теоретическая значимость работы. Предложено и обосновано определение «опустынивания почв», которое можно сформулировать как комплексное явление антропогенной и природно-антропогенной деградации почв, характеризующееся ростом дефицита доступной для растений почвенной влаги в вегетационный период.

Практическая значимость данного исследования заключается в возможности использовать его результаты для диагностики опустынивания почв по актуальным признакам дефицита доступной почвенной влаги для растений в вегетационный период (на основе показателей водоудерживающей способности почв). В работе предложен и успешно использован алгоритм диагностики почв, подверженных опустыниванию, с использованием водно-физических свойств почв. В основе данного алгоритма лежит установление комплекса признаков деградации земель в определенной последовательности.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ ПОЧВ (литературный обзор).

Пустыни - это засушливые земли с суровым климатом и, как правило, практически незаселенные. Засушливые земли характеризуются незначительным количеством осадков при высоком коэффициенте испаряемости.

По данным ООН (Факты..., 2010) засушливые земли занимают не менее 40% суши и являются средой обитания для более 2 млрд. человек. При этом, почти половина людей, обитающих на засушливых территориях, живут в условиях нищеты. Удовлетворение основных потребностей этих людей в огромной степени зависит от окружающей их среды. Обитающие на засушливых землях люди, около 1,8 млрд. из которых живут в развивающихся странах, отстают от остального населения мира по уровню своего благосостояния и показателям в области развития.

Решению этой проблемы посвящена Конвенция по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке (КБООН) (Конвенция ..., 1994). Главное внимание в ней уделяется улучшению плодородия и восстановлению почв, а также охране и рациональному использованию земли и водных ресурсов. В ней подчеркивается значение создания благоприятной окружающей среды для местных жителей, которая помогает им бороться с истощением почвы (The United..., 2008).

Опустынивание определяется КБООН как «деградация земель в аридных, субаридных и засушливых субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека» (Конвенция ..., 1994).

Одной из главных причин деградации земель является человеческая деятельность - чрезмерная обработка пахотных земель, перевыпас скота, обезлесение и нарушение ирригационных технологий или неадекватные

системы орошения. По данным Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде, деградации подвергается треть поверхности Земли, что, соответственно, влияет на жизнь более 1 млрд. человек более чем в 100 странах (The United..., 2008).

При этом «земля» в понимании КБОООН означает «земную биопродуктивную систему, включающую в себя почву, воду, растительность, прочую биомассу, а также экологические и гидрологические процессы, происходящие внутри системы» (Конвенция ..., 1994).

В свою очередь, деградация земель определяется КБОООН как **«снижение или потеря биологической или экономической продуктивности засушливых земель»**, то есть это деградация таких элементов земель как почвы, растительность, рельеф и водные ресурсы.

Иными словами, опустынивание - это деградация **почв**, растительности, рельефа, водных ресурсов (объединенных понятием «земля»), расположенных в аридных, субаридных и засушливых субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека.

В связи с вышеизложенным, необходимо четкое закрепление места и роли почв в явлении опустынивания.

Одной из задач данного исследования является оценка различных понятий и определений, так или иначе используемых при описании явления опустынивания применительно к почвам.

Для этого рассмотрим понятие «опустынивание», а также различные методологические подходы к его пониманию с целью выявления места и роли почв в этом явлении.

1.1. Понятие «опустынивание».

История разработки и развития содержания термина «опустынивание» в мировой науке подробно рассмотрена в работах R. Odingo (1990), Verstraete (1986), М. Глянца с соавт. (1984), Г.С. Куста (1999) и др. В данной работе мы не будем детально останавливаться на всех этапах развития данного термина, остановимся лишь на основных исторических вехах.

Впервые термин “опустынивание” был применен французским экологом и лесоводом А.Обревилем (Aubreville, 1949) для обозначения процесса деградации растительности и почв в гумидных и субгумидных районах тропической Африки вследствие обезлесения, беспорядочного выжигания естественной растительности и возделывания сельскохозяйственных культур.

К слову, одновременно с термином «опустынивание» А. Обревилем был предложен термин «климатическое опустынивание» при котором опустынивание рассматривается как результат взаимодействия аридизации (климатического опустынивания) и антропогенной дигрессии земель (цит по: Золотокрылин А.Н., 2003).

Затем, вплоть до 1972 года, термин «опустынивание» использовался крайне редко. В 1972 году в Стокгольме состоялась Международная конференция по человеку и окружающей среде. На этой конференции явление опустынивания впервые было названо в числе важнейших проблем окружающей среды.

Позже G. Dregne (1976) определил опустынивание как процесс истощения аридных, семиаридных и некоторых субгумидных экосистем комбинированным воздействием деятельности человека и засухой.

Другое понятие явления «опустынивание» было сформулировано в конце 1970-х гг. как процесса биолого-социально-экономической деградации экосистем. Базовое определение понятия опустынивания (UNCOD, 1978) оценивало его как «сокращение и разрушение биологического потенциала земель, что может привести, в конечном счете, к пустынно-подобным

условиям». В этом понимании опустынивание представляет собой «ухудшение» (deterioration) экосистем, как «уменьшение и разрушение биологического потенциала, т.е. растительной и животной продукции для многоцелевого использования в то время, когда увеличение продукции необходимо для поддержания возрастающего населения» - эта формулировка термина «опустынивание» в русском языке близка к понятию «опустошение».

В нашей стране под термином «опустынивание» Б.Г. Розанов и И.С. Зонн (1981) понимали «природный или антропогенный процесс необратимого изменения почвенного и растительного покрова засушливой территории в сторону аридизации и уменьшения биологической продуктивности, которое в экстремальных случаях может привести к полному разрушению биосферного потенциала и превращению территории в пустыню».

Г.С. Куст (1999) отмечает, что в этом определении авторы сделали несколько новых важных акцентов. Во-первых, были четко оговорены территории, подверженные опустыниванию - засушливые территории. Во-вторых, был сделан акцент на то, что опустынивание приводит не только к деградации растительности, но и почвенного покрова, подчеркивая роль почв в явлении опустынивания. В третьих, было указано на необратимость опустынивания при определенных условиях.

Помимо рассмотренных, существует несколько десятков определений опустынивания, отражающих многоаспектность данного явления. Г.С. Куст (2011) выделяет следующие аспекты опустынивания - подверженность опустыниванию всех компонентов ландшафтов - почв, растительности, водных ресурсов, рельефа; активизация процессов опустынивания в результате антропогенной деятельности; усиление аридности мезо- и микроклимата, частоты засух, и возрастание недоступности влаги растениям; снижение биологической продуктивности и ресурсного потенциала местностей, подверженных опустыниванию; расширение и интенсификация

пустынных условий; разрастание пустошей, бедлендов; затрудненность или невозможность обратимых процессов, то есть процессов восстановления опустыненных земель; синергетический эффект деградации разных компонентов ландшафтов и появление (включение) цепных реакций деградации; серьезные экономические и социальные последствия опустынивания, включая санитарные и медицинские проблемы, нехватку продуктов питания; переселение людей, конфликты и войны.

В настоящее время общепринятой является формулировка, данная КБООН (Конвенция..., 1994). В данной работе при использовании термина опустынивание мы будем понимать именно это определение.

В Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием, помимо определения «опустынивание», понятий «земля» и «деградация земель», приведенных выше, заложен ряд основополагающих терминов, активно используемых при работе с КБООН, отметим наиболее важные с точки зрения нашего исследования:

1) *"засуха"* означает естественное явление, возникающее, когда количество осадков значительно ниже нормальных зафиксированных уровней, что вызывает серьезное нарушение гидрологического баланса, неблагоприятно сказывающееся на продуктивности земельных ресурсов;

2) *"засушливые, полузасушливые и сухие субгумидные районы"* - это районы, помимо полярных и субполярных, в которых отношение среднего ежегодного уровня осадков к потенциальной эвапотранспирации колеблется в диапазоне от 0,05 до 0,65.

Помимо термина опустынивание, хотелось бы остановиться на двух, во многом созвучных, концепциях для оценки явления опустынивания.

Первая концепция, предложенная Г.С. Кустом (1991, 1999, 2012) для понимания термина опустынивание использует следующую терминологию (блоки):

1) «Объекты опустынивания» – «земли», включающие в себя почвы, водные ресурсы, рельеф и растительность. Каждый из этих объектов опустынивания обладает набором собственных свойств, функционирует по своим законам.

2) «Процессы опустынивания» – это природные (естественные) процессы, которые происходят в природных системах при опустынивании и являются объектами изучения отдельных наук, таких как почвоведение, геоботаника, геоморфология, климатология, гидрология и гидрогеология. Примером таких процессов являются засоление, осолонцевание, снижение биоразнообразия, и т.д.

3) «Факторы опустынивания» – аридность или аридизация макро-, мезо- или микроклимата. Вне аридных и засушливых условий опустынивание невозможно (согласно КБО ООН).

4) «Результаты опустынивания» – представляют собой последствия направленного изменения объектов опустынивания под влиянием внешних воздействий.

5) «Регуляторы опустынивания» – включают в себя те же компоненты, что и объекты опустынивания, которые в свою очередь обладают рядом регуляторных свойств. Они могут регулировать степень, скорость и глубину протекания процессов опустынивания. В целом регуляторы и объекты опустынивания образуют единый блок - «условия опустынивания».

6) «Антропогенные агенты опустынивания» - это самые разнообразные виды воздействий человека на природные системы аридных территорий, которые могут оказывать прямое влияние на любой из блоков этой системы – на климат, ландшафты и т.д. Процессы и агенты опустынивания составляют блок – «причины опустынивания».

Удобство этой концепции заключается в адаптированности ее для изучения явления опустынивания. Она позволяет обсуждать различные аспекты явления опустынивания, используя определенный понятийный аппарат.

Вторая концепция, принятая в официальных документах КБООН, имеет более широкое применение и используется для описания взаимодействия между обществом и окружающей средой: DPSIR (Driving Force – Pressure – State – Impact – Response) или её более развёрнутая версия, предложенная группой AGTE в 2013 году, DPSHeIR (Driving Force – Pressure – State – human and environmental Impact – Response).

DPSheIR - это стандартная структура для организации информации и отчетности о состоянии окружающей среды, охватывающей движущие факторы, давление, состояние окружающей среды, воздействия и отклики.

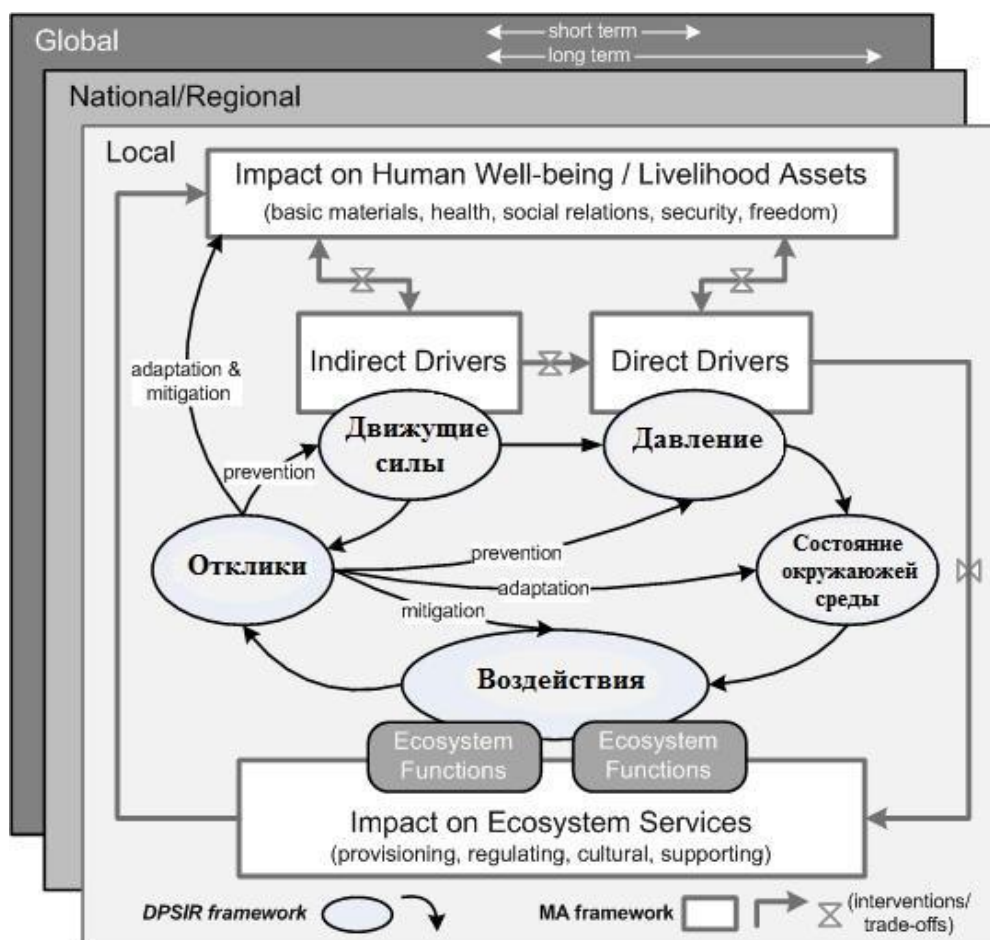


Рис. 1. СхемаконцепцииDPSheIR. (MEA, 2005; FAO LADA, 2009; GEF KM:Land 2010)

Механизм данной схемы (рис. 1) применим не только к опустыниванию, и заключается в следующем:

Движущие силы (социальные, экономические или экологические) оказывают Давление на окружающую среду в результате, которого окружающая среда приходит к некому Состоянию. В свою очередь Состояние оказывает Воздействия, которые могут вызывать различного рода Отклики на движущие силы, давление, состояние, или воздействие (ЕЕА, 2001).

Сравнивая описанные концепции, можно сделать вывод, что модель DPSheIR более формальна и проста - это позволяет ей использоваться в различных отраслях при описании взаимодействия общества и окружающей среды, в этом и заключается её универсальность. Концепция, предложенная Г.С. Кустом (1991, 1999, 2012) более «научна», и применима для целей данной работы ввиду её четкой ориентированности на описание явления опустынивания.

С целью установления места и роли почв в явлении «опустынивания» рассмотрим методологические подходы к его пониманию и использованию.

1.2. Методологические подходы к пониманию и использованию термина «опустынивание». Роль почв в явлении опустынивания.

В рамках предложенной КБОУН концепции опустынивания Г.С. Куст выделяет два методологических подхода.

I. «Климатический» подход.

Состоит в разделении понятий «опустынивание» и «аридность» (Куст, 1991, 1999). Аридность территорий сама по себе не приводит к опустыниванию, равно как и разнообразные процессы (эрозия, засоление, снижение количества и разнообразия растительности и т.д.). Опустынивание наступает только тогда, когда те или иные разнообразные антропогенные воздействия, возбуждая или усиливая различные деградационные процессы, дают возможность существующей или усиливающейся засухливости макро-,

мезо- и микроклимата активно и направленно воздействовать на почвы, грунтовые и поверхностные воды, рельеф, растительность (Куст, Андреева, 2012).

По мнению В.А. Ковды (1977) «учащение засух, усиление недородов, гибель растительности и разрушение почв на значительных территориях связаны между собой, связаны с общей тенденцией аридизации суши и усилены отрицательными последствиями ошибочной деятельности человека».

Например, полупустыни и пустыни являются крайне неустойчивыми ландшафтами. Растительность и дернина могут быть разрушены полностью или на несколько лет даже после одного прохода гусеничного трактора (Ковда, 1977). Потеря почвами растительного покрова и гумуса, в свою очередь, усиливает аридизацию местности: освещенность поверхности увеличивается в несколько раз, максимальное нагревание возрастает на 18-25°C, влажность почвы снижается, в 2-3 раза растет альбедо, приближаясь к альбедо пустынь (40-50%) (Быстрицкая, Осычнюк, 1975).

И.С. Зонн, Н.С. Орловский (1984) также указывают на нерациональное использование природных ресурсов как причину усиления естественных процессов аридизации или опустынивания аридных территорий: «процесс аридизации ускоряется за счет широкого использования грунтовых вод».

Усиление аридизации территории в результате антропогенных воздействий подтверждает механизм опустынивания Оттермана (Otterman, 1974) и Чарни (Charney, 1975;1977), основанный на эффекте положительной обратной связи альбедо-осадки. Идея состоит в том, что территории, подверженные опустыниванию (например, в результате перевыпаса скота) обладают повышенными показателями альбедо по сравнению с ненарушенными участками. Повышение альбедо уменьшает подъем воздуха и понижает температуру подстилающей поверхности, что в свою очередь приводит к снижению испаряемости и как следствие, к уменьшению количества осадков. Таким образом, опустынивание территории

самоподдерживается благодаря обратной связи альbedo-осадки. Данный пример подтверждает возможность мезомасштабной аридизации климата, однако следует уточнить, что исследования проводились на Синайском полуострове и сравнивались между собой пустыни Синаи и Негев.

Данная гипотеза не утратила своей актуальности и в настоящее время. Подход, основанный на идее альбедного механизма опустынивания Оттермана, был реализован на примере засушливых земель Северо-Западного Прикаспия. Согласно этому подходу, взаимодействие аридизации и природно-антропогенной деградации на засушливых землях может быть выражено двумя типами регулирования температуры поверхности: радиационным и эвапотранспирационным. Взаимодействие аридизации и деградированных земельс радиационным терморегулированием поверхности усиливает аридизацию, а с эвапотранспирационным – сдерживает (Золотокрылин, Титкова, 2011).

По мнению Т.М. Брагиной (2004) засушливость климата и засуха являются стимулятором процессов опустынивания. Согласно расчетам по моделям общей циркуляции атмосферы, ожидаемое удвоение концентрации двуокиси углерода к 2050 г. вызовет значительный рост температуры воздуха во все сезоны в среднем на 3-7°C и уменьшение количества осадков в пределах 20% от нормы, что приведет к усилению климатических факторов опустынивания.

II. «Факторный» подход.

Второй подход, выделяемый Г.С. Кустом (1991,1999)заключается в раздельном рассмотрении «составляющих» явление опустынивание. При этом выделяются *почвенная*, геоморфологическая, биологическая, гидрологическая, климатическая составляющие.

По мнению Г.С. Куста и О.В. Андреевой (2012) идея раздельного рассмотрения составляющих опустынивание имеет ряд преимуществ. «Во-первых, это позволяет глубже разобраться в причинах и результатах

опустынивания, проследить протекающие при этом процессы, оценить устойчивость экосистем засушливых территорий к опустыниванию, а также дает возможность прогнозировать характер, степень и глубину протекания опустынивания. Так, например, изменение каждого компонента опустыниваемых ландшафтов (почвы, растительности и т.д.) может быть оценено через их специфические свойства-индикаторы».

А.А. Рафиков и Г.Ф. Тетюхин (1981) определяют роль почв в условиях опустынивания следующим образом: «почва как «зеркало ландшафта» при прогнозировании природных комплексов вместе с растительностью служит индикатором состояния территории. Особенности почв дают информацию о ландшафте и возможности использования земель для сельского хозяйства. Почва отражает совокупность внутренних взаимодействий, взаимосвязи и взаимообусловленности компонентов природного комплекса».

Резюмируя рассмотренные подходы, стоит отметить, что причины опустынивания и проявления опустынивания в затрагиваемых компонентах экосистем чрезвычайно многообразны, что затрудняет диагностику этого явления.

Индикаторы опустынивания, как правило, отражают в первую очередь состояние растительности, выражая в разных формах такие параметры как проективное покрытие, общая биомасса или продуктивность, «вегетационные индексы» и т.п. В любом случае признаки состояния растительности выступают в качестве наиболее очевидных и значимых физиономических индикаторов опустынивания, поскольку отражают состояние и динамику биопродуктивности (потенциальной и актуальной) земель.

Вместе с тем, например, для сельскохозяйственных земель, где естественная растительность отсутствует, а динамика продуктивности не отличается постоянством трендов, а часто и в естественных экосистемах из-

за сильных флуктуаций климата растительные индикаторы недостаточно уверенно диагностируют опустынивание.

Таким образом, почвенные индикаторы могут и должны служить основными в таких ситуациях, а также дополнять и подтверждать оценки, сделанные на базе растительных индикаторов.

В таком случае возникает ряд вопросов. Как определить эти почвенные индикаторы опустынивания? Изменение каких почвенных или непочвенных параметров должно указывать на опустынивание? Если эти изменения происходят только в почвах, можно ли говорить об опустынивании почв?

В научной литературе «почвенная составляющая» опустынивания характеризуется различными понятиями, среди которых - «опустынивание почв», «почвенная засуха», «аридизация суши», «сельскохозяйственная засуха» и др., при этом отсутствует общепринятый термин, характеризующий явление опустынивание применительно к почвам.

Рассмотрим эти понятия более подробно с целью выявления общих черт между ними, а также с целью поиска почвенных индикаторов опустынивания почв.

1.3. Опустынивание почв.

Несмотря на отсутствие общепринятого понимания термина «опустынивание почв» в научной литературе его использование становится достаточно частым.

В.А. Ковда (1977) характеризовал «опустынивание почв» следующим образом: «в тех аридных странах, где атмосферное увлажнение измеряется лишь немногими миллиметрами в год, *почвы*, прошедшие гидроморфную стадию или подвергшиеся засолению, охватываются процессом *опустынивания*. Изреживается растительность, обедняется дернина и фауна. Окисляется гумус, утрачивается структурность. Дефляция уносит мелкозем. Биологическая продуктивность снижается до нескольких центнеров и менее...».

В данном определении В.А. Ковда, прежде всего, обращает внимание на деградацию почв, развивающуюся в условиях недостаточного атмосферного увлажнения.

L. Nianfeng(1998) считает, что «опустынивание почв» проявляется в условиях засушливых и полузасушливых районов, где чрезмерная деятельность человека может разрушить устойчивость экосистемы и вызвать потерю почвенного плодородия, засоление, опесчанивание. Под воздействием этого феномена изменяются физическая структура, химический состав, снижаются запасы питательных веществ в почве, которые в свою очередь делают почву менее продуктивной и бесплодной.

Таким образом, L. Nianfeng закладывает несколько иной смысл в понятие «опустынивание почв». По его мнению, в качестве основной причины опустынивания почв выделяется не просто общая засушливость климата, но и чрезмерная деятельность человека. Также автор отмечает ухудшение физических и химических свойств при опустынивании почв.

Г.С. Куст (1996) даёт следующее определение: «опустынивание почв» - это сложный комплекс процессов, приводящих к формированию равновесных автоморфных почв в условиях аридного климата или к исчезновению почв как природных тел в результате абсолютного преобладания литогенеза над педогенезом.

В данном случае Г.С. Куст определяет термин «опустынивание почв» через его результат, а не через способ достижения этого результата. Автор отмечает, что результатом «опустынивания почв» являются два возможных варианта: 1) формирование равновесных почв (то есть некий эволюционный путь развития данных почв; движение к аттрактору); 2) исчезновение почв (формирование бедлендов).

Созвучным термину «опустынивание почв» можно считать понятие «аридизация суши», данное В.А. Ковдой (1977). Под этим термином автор понимает: «сложный и разнообразный комплекс процессов и тенденций уменьшения степени увлажненности обширных территорий и вызванного

этим сокращения биологической продуктивности экологических систем почвы-растения».

Проблемы опустынивания и аридизации суши Земли в современный период, согласно концепции В.А. Ковды, представляют собой глобальное явление и широко распространены в различных засушливых регионах мира, приводя к деградиционным изменениям почв и потере их продуктивности (Г.С. Куст, 1999).

Начальной формой аридизации В.А. Ковда (1977) называет ксеротизацию местности (нарастания сухости), обусловленную обезлесением, усилением поверхностного стока, углублением уровня грунтовых вод, дигрессией пастбищ при тех же величинах атмосферных осадков и режиме температур. При этом увеличение частоты засух, сокращение (периодическое или постоянное) количества выпадающих осадков, возрастание температур выше средних многолетних уровней, периодическое преобладание испарения над увлажнением можно рассматривать как дальнейшее развитие аридизации.

По мнению И.Ю. Савина и др. (2011) при воздействии засухи происходит обезвоживание растения, в результате чего нарушаются основные физиологические процессы: фотосинтез, ростовые функции, дыхание, органогенез и др. Это приводит к замедлению развития растения и, в случае сильной и продолжительной засухи, к его гибели. Обезвоживание растений может быть связано с двумя основными факторами. Во-первых, это недостаток атмосферных осадков и высокие температуры воздуха. Устанавливающийся при этом уровень расхода воды на транспирацию превышает скорость ее всасывания корнями из почвы, что и является причиной обезвоживания растений. В этом случае говорят об атмосферной засухе. Во вторых, обезвоживание может быть связано с *недостатком влаги в почве*. При этом обезвоживание может произойти и при низких температурах воздуха. Это явление обычно называют «почвенной засухой». В большинстве случаев почвенная засуха следует заатмосферной и является

её результатом. В чистом виде атмосферная засуха нередко наступает весной, когда почва ещё насыщена водой после схода снега. Почвенная засуха часто наблюдается в середине или конце лета, когда зимние запасы влаги в почве уже использованы, а летних осадков было мало.

В настоящее время под «почвенной засухой» Г.С. Куст и др. (2010) понимают иссушение почвы, связанное не только с атмосферной засухой, но и с условиями передвижения влаги в почвах, что, в совокупности приводит к недостаточному обеспечению растительности, прежде всего сельскохозяйственных культур, водой, к ее угнетению и снижению или гибели урожая.

Гидрометеорологи под понятием «почвенная засуха» понимают запасы почвенной влаги в пахотном и метровом слое почвы. Так, сильной почвенной засухе соответствуют запасы менее 10 мм в пахотном и менее 50 мм в метровом (Фролов, Страшная, 2010).

С точки зрения сельского хозяйства, «почвенная засуха» наступает в результате нехватки почвенной влаги и приводит к стрессу, увяданию растений, снижает урожайность зерна (Carr, 1966).

По мнению Е.В. Щербенко (2007) недостаток почвенной влаги приводит к сельскохозяйственной засухе, которая, снижая урожай сельскохозяйственных культур и трав, оказывает экономическое и социальное воздействие на общество и окружающую среду. При этом, не всегда атмосферные засухи приводят к сельскохозяйственным засухам. В том случае, если запасы почвенной влаги велики после схода снежного покрова или обильных дождей, сельскохозяйственная засуха может и не наступить.

«Почвенная засуха» наступает при нарастающем иссушении почвы, в результате чего поступление воды в корни растений замедляется или совершенно прекращается (Антонюк и др., 2010).

Подробный разбор различных трактовок понятий «аридизация суши» и «почвенная засуха» показывает, что эти термины тесно связаны друг с другом.

Говоря об «аридизации суши», В.А. Ковда (1977) понимает увеличение засушливости обширных территорий, которая, в свою очередь, приводит к деградационным процессам в почве. Более локально используется термин «почвенная засуха». Чаще всего под «почвенной засухой» понимают ***недостаток доступной для растений влаги*** в почвах, вызванный в результате: наступления почвенной засушливости следующей за атмосферной засухой; ухудшения условий перемещения влаги в почвах и т.п., ***который приводит к угнетению растений и снижению биологической продуктивности.***

Возвращаясь к понятию «опустынивание почв» и роли почв в явлении опустынивания, стоит подчеркнуть важное индикаторное свойство, заложенное в термине «почвенная засуха».

Недостаток влаги в почве в условиях засушливого и полусухого климата, приводящий к угнетению/гибели растительности - одного из компонентов экосистем («земель», в понимании КБООН), может быть использован как индикатор опустынивания в почвах.

Идея о том, что водно-физические свойства почв играют ведущую роль в развитии процесса опустынивания территорий, сформулирована Б.Г. Розановым и И.С. Зонном (1981): *«степень аридизации почв можно количественно устанавливать в конкретных показателях водно-физических свойств и водного режима».*

Вместе с тем, по мнению Г.С. Куста и О.В. Андреевой (2012), до настоящего времени этот подход на практике почти не реализован, хотя существует большое количество публикаций, в которых показано направленное изменение при опустынивании различных водно-физических свойств почв.

В научной литературе есть множество отдельных примеров того как различные причины опустынивания (механизмы, почвенные процессы, режимы, состояния и результаты) могут приводить к созданию в почвах условий недостатка влаги.

В.А. Ковда(1977) описывает последствия почвенной аридности так: «в обострении последствий атмосферной засухи большая роль принадлежит потерям почвами гумуса (при эрозии почти полностью), зернисто-комковатой структуры, распылению почв (усиливает испарение, ослабляет инфильтрацию) и особенно повышению коэффициента завядания, т.е. снижению доступности влаги для растений. Повышенный коэффициент завядания и низкая доступность влаги для растений – одно из типичных свойств почв аридных областей».

Почвенная влага сильно влияет на биологические процессы. Количество, состояние (доступность) и движение почвенной влаги определяют обеспеченность водой как дикорастущих, так и культурных растений, косвенно регулируют их снабжение элементами питания и метаболизм. Следовательно, режим почвенной влаги занимает особое место среди почвенных экологических факторов, определяющих экологический потенциал конкретной территории и биологическую продуктивность, т. е. продукцию биомассы различных естественных и агроэкосистем (Nadas, 1973; Hillel, 1971; Russel, 1973).

При недостатке почвенной влаги во многих растениях приводятся в действие физиологические механизмы, закрывающие устьичные отверстия в листьях, что резко повышает транспирацию и является эволюционно необходимым приспособлением, охраняющим на какое-то время корневые системы от пересыхания. Естественно, это влечет за собой ослабление фотосинтетической деятельности листьев и снижение продуктивности фитоценоза.

А.Н. Кренке и др. (2001) также указывают на изменения водно-физических свойств почв в условиях опустынивания: «долговременный перевыпас на полупустынных пастбищах ведет к деградации травянистого яруса, увеличению пространственной и временной неоднородности почвенных ресурсов...результатирующих эффект этих изменений - это уменьшение доступной почвенной влаги...».

При этом, по мнению Т.М. Брагиной (2004), увеличение альбедо при деградации экосистем уменьшает запасы продуктивной влаги в почве и вызывает дальнейшее усиление деградации.

Подводя итог обсуждению различных трактовок термина «опустынивание почв», можно резюмировать следующее.

С одной стороны, недостаток влаги в почве может быть вызван почвенной засухой, следующей за атмосферной засухой; снижением базиса эрозии местного водосбора; иными причинами вплоть до глобального потепления климата. При этом дефицит почвенной влаги будет следствием внешних, не зависящих от свойств почв факторов.

С другой стороны, *недостаток влаги в почве возникает в результате ухудшения водно-физических свойств* (химических, иных свойств) почв под действием причин опустынивания. В таком случае, *недостаток влаги в почве является индикатором «опустынивания почв»* в понимании Б.Г. Розанова и И.С. Зонна(1981). То есть, изменение почвенных свойств (процессов, и т.п.), вызванное естественными и/или антропогенными процессами, приводит к дефициту почвенной влаги, что, в свою очередь, ведет к «опустыниванию почв».

Таким образом, понятие «опустынивание почв» можно сформулировать как комплексное явление антропогенной и природно-антропогенной деградации почв, характеризующееся ростом дефицита доступной для растений почвенной влаги в вегетационный период.

Итак, на основании литературного исследования нами сделан вывод о том, что недостаток влаги в почве является важным индикатором опустынивания почв. Данная рабочая гипотеза положена в основу нашего исследования.

Таким образом, для подтверждения или отрицания данной гипотезы необходимо изучить какие причины приводят к дефициту влаги в почвах, а, следовательно, приводят к опустыниванию.

1.4. Процессы опустынивания почв.

Как мы уже выяснили ранее, к причинам опустынивания относятся антропогенные агенты и процессы опустынивания. В рамках данной работы нас, прежде всего, интересуют те процессы опустынивания, которые приводят к недостатку влаги в почве. Термин «процессы опустынивания» в понимании Г.С. Куста (1991, 1999, 2012) это природные процессы, свойственные отдельным компонентам природных систем (или земель), которые при определенных условиях, факторах и агентах опустынивания могут приводить к опустыниванию в целом.

При изучении опустынивания почв, процессы опустынивания, происходящие в почвах, как отдельном компоненте природных систем, мы предлагаем называть процессами опустынивания почв. При этом следует понимать, что процессы опустынивания почв это не только «основные» почвообразующие процессы (засоление, осолонцевание и т.п.), но и другие процессы или их сочетания, прямо или косвенно приводящие к увеличению почвенной засушливости (например, «опесчанивание» при пастбищной дигрессии).

Ещё один термин, которым мы будем пользоваться при описании процессов опустынивания почв это «проявления опустынивания почв».

Проявления опустынивания почв – это механизмы, режимы, состояния и результаты, возникающие в результате воздействия на почвы процессов опустынивания почв, в условиях аридного, субаридного или субгумидного климата.

Какие же процессы могут приводить к опустыниванию почв? Проведенный обзор отечественной и зарубежной литературы, содержащей различные перечни процессов опустынивания (Prov.Methodology., 1984;

Маббут, 1984, 1985; Харин, Нечаева, Николаев и др., 1983; Darkoh, 1989; Tolba, 1990; Куст, 1999; Куст и др., 2004; Зинакова и Севастьянов, 2011) позволил нам сформировать список основных процессов опустынивания почв:

- засоление (включая вторичное засоление);
- осолонцевание;
- опесчанивание;
- коркообразование;
- обесструктурирование и уплотнение;
- водная эрозия.

В список вошли лишь те процессы, которые имеют непосредственное отношение к почвам или же по своей природе являются почвенными процессами. При этом важно понимать, что эти процессы могут быть инициированы как естественными процессами, так и антропогенными воздействиями.

Данный список не включает в себя техногенные процессы (разливы нефти, создание шламовых амбаров, добыча полезных ископаемых открытым способом и пр.), а также свойственные гидроморфным почвам процессы (оглеение и окисление; заболачивание; торфообразование и минерализация органического вещества и пр.).

Таким образом, на основе литературных данных нами определен перечень процессов опустынивания почв, которые могут приводить к снижению доступности почвенной влаги для растений и как следствие - к опустыниванию почв.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

2.1. Обоснование выбора объектов исследования.

На территории Российской Федерации выделяются ассоциации или комплексы аридных равнин трех крупных регионов: юга Европейской части России – Русской платформы, юга Уральской горной страны в пределах Предуральяского прогиба и юга Западно-Сибирской равнинной страны в пределах южной части одноименной плиты (Опустынивание ..., 2009).

Выбор объектов исследований был обусловлен необходимостью подбора участков, характеризующихся различными проявлениями опустынивания почв (засоление, осолонцевание, уплотнение, опесчанивание и т.д.), расположенных в разных почвенно-экологических условиях.

Анализ литературных данных, а также картографических материалов и космических снимков показал, что в наибольшей степени удовлетворяют указанным требованиям территории Северного Прикаспия, степного и сухостепного Заволжья, в пределах которых современные почвы формируются в разных климатических условиях, что находит отражение в существовании здесь почв черноземного, каштанового и бурого полупустынного типов в комплексах с солонцами и солончаками, а также гидроморфными и полугидроморфными почвами на почвообразующих породах различного гранулометрического состава.

За период с 2009 по 2014 годы нами был проведен ряд полевых исследований, среди которых: маршрутные экспедиции Волгоград-Енотаевка (2013) и Саратов-Палласовка-Эльтон-Волгоград (2014), а также полевые работы на объектах степного Заволжья (на примере участков, расположенных на территории Приволжской оросительной системы, 2010); в Кореновском районе Краснодарского края (2009); в сухостепном Заволжье (Палласовский район Волгоградской области, 2011).

Данные объекты были выбраны нами в качестве ключевых на этапе поиска различных проявлений опустынивания почв, а также для разработки

набора диагностических показателей (морфологических, аналитических и др.) для последующей диагностики опустынивания почв. Таким образом, для целей данного исследования нами было заложено более 150 почвенных разрезов и прикопок, расположенных в разных почвенно-экологических условиях, а также выполнены различные лабораторные исследования.

2.2. Описание объектов исследования.

2.2.1. Степное Заволжье (на примере участков, расположенных на территории Приволжской оросительной системы).

По почвенно-географическому районированию Приволжская оросительная система расположена в пределах среднерусской степной провинции обыкновенных и южных среднemosных черноземов. На территории этой провинции встречаются солонцы и солончаки, солонцеватые и солончаковатые лугово-черноземные почвы и солонцеватые обыкновенные и южные черноземы (Почвы и растительность природных зон СССР, 1987).

Исследуемая территория Приволжской оросительной системы имеет протяженность с севера на юг 19 км и 17 км с запада на восток. На космическом снимке изучаемый участок выглядит весьма неоднородным (рис. 2). Сельскохозяйственные поля прерываются овражно-балочными сетями и руслами истоков реки Малый Караман, а также участками с высокой «пестротой» изображения.

Изучаемая территория ограничена левыми притоками реки Волга: с севера и востока – рекой Малый Караман, с юга и запада рекой Большой Караман. Участок низменной равнины, включающий в себя 2 и 3 террасы реки Волга и 4 террасу реки Большой Караман, плавно понижается в сторону реки Волга от высот 70 м на юго-востоке до 25 м абсолютной высоты на севере. В тектоническом отношении территория представляет собой довольно сложный участок юго-востока Русской платформы в зоне сочленения собственно платформы и её глубоко опущенной части –

Прикаспийской синеклизы. На этом участке выделяется локальная структура – Марксовская впадина, которая и является тектонической основой для исследуемой территории.



Рис.2. Объект исследования, расположенный на территории Приволжской оросительной системы» (снимок Landsat-7, 10.08.2008, источник USGS, синтез 531).

Данный объект использовался нами для изучения мезо- и микронеоднородностей почвенного профиля, а также с целью выявления процессов опустынивания почв. Исследование проводилось с помощью почвенно-геоморфологических профилей (всего заложено 3 профиля - 15 почвенных разрезов), а также ключевых участков для описания микронеоднородностей почвенного покрова (7 разрезов и 7 прикопок).

2.2.2. Сухостепное Заволжье (на примере участков, расположенных в Палласовском районе Волгоградской области).

На данном объекте исследования в автономных условиях формируются темно-каштановые и каштановые почвы. Неустойчивое и недостаточное атмосферное увлажнение, обуславливающее уменьшение биомассы, и особенности соотношения процессов поступления органических остатков, их гумификации и минерализации приводят к меньшему накоплению гумуса и сокращению мощности гумусового горизонта в каштановых почвах по

сравнению с черноземами. Непромывной водный режим и меньшая глубина промачивания влагой ослабляют вынос солевых продуктов выветривания и почвообразования. Легкорастворимые соли, как правило, выносятся из корнеобитаемого слоя, карбонатный горизонт располагается ближе к поверхности, чем в черноземах, и обычно начинается с глубины 30—40 см (Добровольский, Урусевская, 2004).

Согласно схеме почвенно-географического районирования СССР (Иванова, 1962) исследуемая территория на севере ограничена в пределах Заволжской сухостепной провинции темно-каштановых и каштановых почв, а на юге - Прикаспийской провинцией светло-каштановых и бурых почв, солонцовых комплексов, песчаных массивов и пятен солончаков.

В понижениях рельефа развиты лугово-каштановые, луговые и лугово-степные почвы, более обеспеченные влагой и дающие более гарантированные урожаи, чем почвы повышенных и ровных частей междуречий. Естественная растительность представлена преимущественно полынно-злаковыми сухими степями (Физико-географическое районирование СССР, 1968).

Каштановые почвы провинции относятся к фациальным подтипам теплых промерзающих почв восточноевропейской группы. В темно-каштановых почвах мощность гумусовых горизонтов обычно не превышает 40 см, вскипание наблюдается в нижней части горизонта А или с поверхности, выделение карбонатов — с глубины 40—60 см, а гипса — со 100—150 см. Содержание гумуса 3,5—5%. В каштановых почвах мощность гумусового горизонта около 30 см, причем в горизонте В1 обычны сильно осветленные слабогумусированные «заклинки». Карбонаты и гипс залегают несколько выше, при более высоком их содержании.

Для почвенного покрова характерна приуроченность более мощных, гумусированных несолонцеватых и незасоленных почв к водоразделам и менее мощных, с пониженным содержанием гумуса, солонцеватых и глубинносолонцеватых почв к склонам.

Земледельческая освоенность провинции в среднем 41%. Сенокосы занимают около 6, пастбища — 44%. Господствует зерновое хозяйство. Основная культура — яровая пшеница (Добровольский, Урусевская, 2004).

Целинные почвы на изучаемой территории практически отсутствуют.

На слегка приподнятых участках (микрорысаниях), встречаются солончаковатые солонцы; в западинах, под разнотравно-злаковой растительностью — темно-цветные черноземовидные почвы, а на мелких склонах к западинам, а также в наиболее мелких западинах под ромашниково-острецовой растительностью — светло-каштановые почвы (Роде, 1958).

Исследование проявлений опустынивания в почвах, расположенных в Сухостепном Заволжье проводилось в ходе полевых работ на объектах: СПК «Ромашковский» (Палласовский район Волгоградской области) (рис.3), маршрутной экспедиции Саратов-Палласовка-Эльтон-Волгоград (рис. 4). На данных объектах было заложено 65 почвенных разрезов и прикопок.

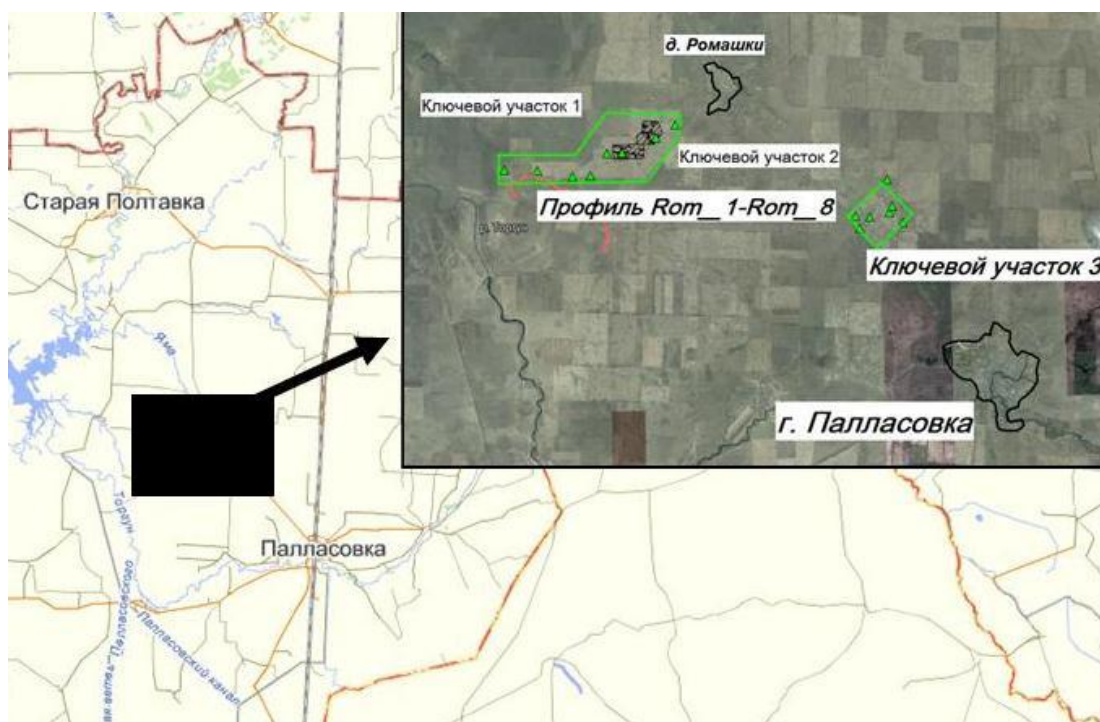


Рис. 3. Ключевые участки №1, 2, 3 и почвенно-геоморфологический профиль Rom_1-Rom_8 в Сухостепном Заволжье.



Рис. 4. Ключевые участки маршрутной экспедиции Саратов-Палласовка-Эльтон-Волгоград.

2.2.3. Северный Прикаспий (на примере участков в Светлоярском районе Волгоградской области, Черноярском и Енотаевском районах Астраханской области).

По схеме почвенно-географического районирования СССР (Иванова Е.Н., 1962) исследуемая территория относится к Прикаспийской провинции светло-каштановых и бурых почв, солонцовых комплексов, песчаных массивов и пятен солончаков (рис. 5).

В Северном Прикаспии почвы солонцового комплекса занимают площадь около 2,9 млн. га и являются крупным резервом сельскохозяйственного производства. Из них 50% представлено солончаковыми солонцами, приуроченными к микроповышениям, 25 — светло-каштановыми почвами (на микросклонах) и 25% — лугово-каштановыми почвами (в микрозападинах). Грунтовые воды, залегающие на глубине 5—7 м, подсолонцами засолены, их минерализация составляет ~5 г/л (Сиземская, 1991).



Рис.5. Ключевые участки в Светлоярском, Черноярском и Енотаевском районах Астраханской области.

Исследования на данном объекте проводились в ходе маршрутной экспедиции Волгоград – Енотаевка на 6 ключевых участках. В общей сложности на данных ключевых участках заложено 20 разрезов и прикопок.

Так как изучаемая территория характеризуется сложной структурой почвенного покрова, особое внимание уделялось изучению особенностей мезо- и микронеоднородностей почвенного покрова, а также изучению проявлений деградации почвенного покрова.

Более подробное описание объектов исследования находится в Приложении № 1.

2.3. Методы исследования.

Большинство из существующих способов оценки проявлений опустынивания отражают картографические особенности этого феномена.

Большое распространение в последние годы получили способы комплексного ландшафтно-экологического картографирования, при которых на картографических моделях отражают развитие и результаты неблагоприятных антропогенных воздействий на окружающую среду.

При этом направленные изменения свойств почв при опустынивании практически не исследуются.

Стоит оговориться, что в действительности хорошо изучены такие деградационные процессы как засоление, осолонцевание и пр., однако, роль этих процессов при опустынивании почв является малоизученной.

Существует множество методов, оценивающих качественные показатели почв (химические, физические, биологические), а также степень деградации почв по различным критериям (засоление, осолонцевание и т.п.).

Основным, но не единственным, критерием отбора методов настоящего исследования, является способность этих методов указывать на создание условий недостатка почвенной влаги для растений в вегетационный период. В этой связи опишем некоторые методы оценки водно-физических свойств почв, которые были использованы в ходе данного исследования (ОГХ, водопрочность агрегатов, гранулометрический состав и т.п.).

Определение гранулометрического состава методом лазерной дифрактометрии.

Определение распределения частиц по размерам методом лазерной дифракции основано на эффекте рассеяния электромагнитных волн. ЭПЧ рассеивают, попадающий на них свет на постоянный угол, величина которого зависит от диаметра частиц. Линза (преобразовательная линза Фурье) фокусирует рассеянный свет на детекторе, который установлен в фокальной плоскости линзы. Так как каждая частица индивидуального размера локализует определённый угол рассеивания, расшифровка дифракционной картины позволяет рассчитать процентное содержание частиц разного размера, т.е. определить гранулометрический состав почв (Шеин, 2011).



Рис. 6. Лазерный дифракционный анализатор размера частиц «Analysette 22 comfort».

Лазерный дифракционный анализатор размера частиц «Analysette 22 comfort» (рис.6) является прибором универсального применения для определения распределения частиц по размерам в суспензиях, эмульсиях и порошках с помощью лазерной дифракции. Область измерения составляет от 0.01 до 1250 мкм(Практикум по физике..., 2011).

Определение плотности почв.

В данной работы мы применяли буровой метод определения плотности почвы(Вадюнина, Корчагина, 1986).

Определение водопрочности почвенных агрегатов.

Метод П.И. Андрианова (в модификации Н.А. Качинского) основан на учете количества расплывшихся почвенных агрегатов в стоячей воде в определенные интервалы времени. Агрегаты одного, обычно среднего размера (3-5 мм), в количестве 50 или 100 штук раскладывают правильными рядами в заготовленную форму. Затем форму заливают водой комнатной температуры и ведут учет распавшихся и полураспавшихся агрегатов. Расчет по заданной формуле позволяет получить показатель водопрочности (К), выраженный в процентах (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Определение величины засоления почв.

Для исследуемых почв проведен анализ степени засоленности исследуемых почв (кондуктометрически). Из каждого почвенного горизонта отбирался образец, в котором определяли величину электропроводности ЕС (Electricalconductivity) в водной суспензии при соотношениипочва:вода =1:1.

По шкале, разработанной Почвенной службой США, определялись категории засоленности почв (табл. 1) (Soil Survey Staff, 1993; Janzen, 1993).

Таблица 1. Electrical conductivity measurement and salinity classes for a 1:1 soil:water suspension
(Величина электропроводности и категории засоленности почв, для водной суспензии, в соотношении почва:вода 1:1).

Electrical Conductivity (Величина электропроводности), mS/sm	Salinity class (Категория засоленности)	Crop response (Влияние на с\х культуры)
0 - 0.98	Non saline (незасоленные)	Almost negligible effects (без негативного воздействия)
0.98- 1.71	Very slightly saline (очень слабозасоленные)	Yields of very sensitive crops restricted (Снижение урожайности высокочувствительных к засолению с\х культур)
1.71 - 3.16	Slightly saline (слабозасоленные)	Yields of most crops restricted (Снижение урожайности большинства с\х культур)
3.16-6.07	Moderately saline (Умеренно засоленные)	Only tolerant crops yield satisfactorily (Удовлетворительное произрастание устойчивых к засолению с\х культур)
>6.07	Strongly saline (Сильно засоленные)	Only very tolerant crops yield satisfactorily (Удовлетворительное произрастание очень устойчивых к засолению с\х культур)

Определение степени солонцеватости почв.

Определялась на основании сочетания и степени проявления таких морфологических признаков как: глинисто-гумусовые кутаны по граням структурных отдельностей (ГГК по ГСО), структура и плотность

иллювиальных горизонтов, и др.(Куст, 1996), а также с использованием величин pNa и pH .

Почвы	pNa	a_{Na^+}
Несолонцеватые	$>3,0$	$<0,001$
Слабосолонцеватые	$2,4-3,0$	$0,004-0,001$
Среднесолонцеватые	$1,5-2,4$	$0,030-0,004$
Сильносолонцеватые и солонцы	$<1,5$	$>0,030$

Определение солонцеватости исследуемых почв проводилось методом, предложенным Н.Г. Зыриным и Д.С. Орловым (1958), по величинам активности ионов натрия в

водных суспензиях солонцеватых почв(соотношение почва:вода – 1:5) (рис. 7).

Определение содержания в почве углерода органических соединений (гумуса).

Проводилось по методу И.В. Тюрина (Зырин, Орлов, 1980), основанному на окислении органического вещества почвы хромовой кислотой до образования углекислоты.

Определение влагопроводности.

Определение влагопроводности исследуемых почв с поверхности проводилось по методике LADA (FAO-LADA..., 2009).

Таблица 2. Влагопроводность почвы по методике LADA.

Время, за которое 400 мл воды полностью впиталось почвой.	Влагопроводность (мм/ч)
<10 мин	>36 (быстро)
>10 мин < 2 часов	$> 3,6$ (средне)
>2 часов	< 1 (очень медленно)

Данный метод основан на измерении времени необходимого для полной инфильтрации заданного объема воды с поверхности почвы. Для этого на поверхность почвы с небольшим (2-3 мм) утапливанием помещается

цилиндр диаметром 50мм. Затем в данный цилиндр наливают 400 мл воды и засекают время. С помощью специальной таблицы оценивается показатель водопроводности (табл. 2).

Определение основной гидрофизической характеристики (ОГХ) методом центрифугирования.

Главным методом в данном исследовании послужил расчет, построение и изучение основной гидрофизической характеристики (ОГХ) почв как альтернативы прямым измерениям влажности почв и других водно-физических и химических свойств, определяющих доступность влаги растениям. Причина этого выбора состоит в том, что прямые измерения величин влажности и физических свойств оказываются достоверно сравнимы для целей оценки опустынивания и деградации почв только в одинаковых или близких условиях почвообразования и функционирования почв (Куст с соавт., 2008), и единый параметр для оценки степени деградации почв через условия, определяющие недостаток влаги растениям, оказывается трудно подобрать даже из числа таких свойств как плотность, влажность, структурное состояние, гранулометрический и микроагрегатный состав и пр.

Напомним, что «ОГХ - это количественная характеристика водоудерживающей способности почв. Водоудерживание можно определить как способность почвы удерживать влагу в основном капиллярно-сорбционными силами; это влажность почвы при определенном давлении. Чем выше влажность почвы при одном и том же давлении, тем выше водоудерживающая способность или водоудерживание почвы» (Шейн, 2005).

То есть ОГХ как зависимость капиллярно-сорбционного потенциала (давления) почвенной влаги от влажности является интегральным показателем физического состояния почв, ее водоудерживающей способности, доступность влаги растениям (Воронин, 1984; Смагин, 2003), может быть в связи с этим и сравнительным интегральным показателем степени аридизации почв, диагностическим критерием опустынивания. Наиболее правильно здесь, по-видимому, использовать комбинацию ОГХ и

ПГХ - полной гидрофизической характеристики (зависимости от влажности не только капиллярно-сорбционного, но и полного давления, включающего осмотическую составляющую, лимитирующую доступность влаги при засолении почв), как это было предложено для характеристики физического состояния и водоудерживания в почве в целом (Смагин, 2003). Однако в связи с большей динамичностью ПГХ из-за подвижности легкорастворимых солей, подобный подход требует более частых мониторинговых исследований этой характеристики, например, с использованием кондуктометрической оценки (Смагин и др., 2006). Поскольку такие исследования в данной работе не были запланированы, мы представляем здесь лишь базовый вариант оценки с использованием только ОГХ, как наиболее стабильного и достаточно эффективного диагностического критерия опустынивания по водоудерживающей способности почв.

Экспериментальные данные для построения ОГХ были получены методом равновесного центрифугирования (Смагин и др., 1998). В качестве ординаты на кривых ОГХ были использованы рF- единицы по Скофилду, рассчитываемые как десятичный логарифм модуля капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги, выраженного в сантиметрах водного столба (Воронин, 1984): $pF = \lg(P_{\text{см.вд.ст}})$.

ГЛАВА 3. ПРОЯВЛЕНИЯ ОПУСТЫНИВАНИЯ В ПОЧВАХ.

В этой главе описываются процессы опустынивания почв, причины их проявления, а также устанавливается роль этих процессов при опустынивании. Приводятся примеры проявлений опустынивания и способы их индикации.

3.1. Роль структуры почвенного покрова при изучении опустынивания почв.

Как мы отмечали выше, при картографической оценке опустынивания важным обстоятельством при выборе методов является масштаб рассмотрения.

Так, например, широко известная и применяемая на постсоветском пространстве методика оценки опустынивания, разработанная Н.Г.Хариным (Харин и др., 1987, 1992; Бананова, 1986), использует в качестве индикаторов опустынивания для мелко- и среднемасштабных целей такие показатели состояния почв, как содержание солей в почвах, разные признаки солонцеватости, уплотнения, эродированности. Однако, эти признаки де-факто устанавливаются для отдельно взятого почвенного разреза. Трудности интерпретации и генерализации этих показателей, полученных при полевой съемке, сказываются на результатах составления карт.

Для снятия этих проблем было предложено (Куст, 1996; Куст, Андреева, 2012) для целей мелкомасштабного картографирования, в качестве наиболее удобных индикаторов использовать доли (в составе неоднородного почвенного покрова) априори малопродуктивных почв (солончаков, солонцов, эродированных, «скальпированных» и др.), или почв, затронутых в разной степени соответствующими так называемыми деградационными процессами: в основном водной и ветровой эрозией, засолением, осолонцеванием, в некоторых случаях - техногенным загрязнением. Этот же принцип был заложен в основу международной программы по исследованию

опустыненных и деградированных почв засушливых территорий LADA (Славко и др., 2012).

Для целей среднемасштабной оценки удобным оказался также способ учета в составе почвенного покрова так называемых «переходных» почв, промежуточных в ряду динамических и эволюционных изменений почв при опустынивании (Куст, 1999), который показал свою слабую эффективность при использовании для составления как мелко-, так и крупномасштабных карт опустынивания (Куст, Андреева, 2012).

Таким образом, для оценки опустынивания на «местном», то есть крупномасштабном уровне и уровне почвенных индивидуумов целесообразно сочетать пространственные признаки состояния почвенного покрова и признаки отдельных почвенных индивидуумов.

Определение состава почвенного покрова на мезо- и микроуровне позволяет выявить по-отдельности каждый из процессов опустынивания почв и его роль в создании условий дефицита влаги для растений.

Такой подход, исходя из нашего теоретического посыла о значении почвенной влаги в явлении опустынивания, определяется тем, что поверхностная и внутрипочвенная влага, геохимический сток распределяются неравномерно в условиях неоднородности почвенного покрова. Почвенному покрову аридных территорий свойственна комплексная структура, т.е. регулярное чередование двух-трех типов почв на относительно близком расстоянии, главным образом в связи с наличием микрорельефа, перераспределяющим влагу или неравномерной засоленностью почвенного грунта. Комплексность и связанные с ней различия между почвами по степени гумусированности, оструктуренности, солонцеватости, карбонатности, засоленности, различия водного режима и др. осложняют использование аридных почв (Опустынивание засушливых земель, 2009).

С целью репрезентативного выбора ключевых участков для изучения различных проявлений опустынивания, в результате комплексных

исследований изучаемой территории были установлены преобладающие типы мезо- и микронеоднородностей почвенного покрова и их приуроченность к определенным сочетаниям условий землепользования.

Мезонеоднородности:

а) Сочетания каштановых почв обычных, солончаковатых и остаточно-солонцеватых родов; солонцов лугово-каштановых солончаковатых, а также лугово-каштановых глубокосолонцеватых, солончаковатых почв.

Этот тип мезонеоднородностей является характерным для староорошаемых участков изучаемой территории.

Микронеоднородности:

а) Пятнистости каштановых остаточно-солонцеватых неглубокозагипсованных солончаковатых почв и каштановых остаточно-солонцеватых глубокозагипсованных глубосолончаковатых почв.

Этот тип микронеоднородностей характерен для плакорных, выровненных участков староорошаемых полей изучаемой территории.

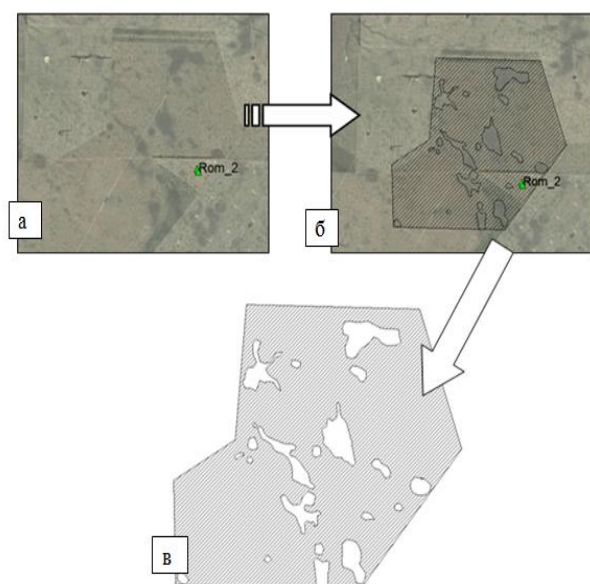
б) Комплексы каштановых почв остаточно-солонцеватых и солончаковатых родов и луговато-каштановых почв.

Этот тип микронеоднородностей характерен для склоновых участков староорошаемых полей изучаемой территории.

в) Комплексы каштановых остаточно-солонцеватых почв и луговато-каштановых почв; солонцов каштановых, луговато-каштановых осолоделых почв и солодей лугово-степных.

Этот тип микронеоднородностей характерен для старопахотных полей изучаемой территории.

В ходе исследований также установлено, что вероятным условием природной неоднородности исследуемой территории является литолого-гидрологическая матрица хвалынского времени, проявляющаяся в ориентированном характере внутрипочвенного стока и соответствующем распределении топогенных мезо- и микронеоднородностей почв, что наглядно проявляется на материалах дистанционного зондирования (рис. 8).



Легенда почвенной карты ключевого участка №1

Услов. обозна- чение	Классификация и диагно- стика почв СССР, 1977
1	Каштановая остаточно-солонцеватая неглубокоза-гипсованная солончаковатая мощная легкосуглинистая на лессовидных карбонатных суглинках
2	Каштановая остаточно-солонцеватая глубокозагипсованная глубокосолончако-ватая мощная легкосуглини-стая на лессовидных карбо-натных суглинках

Рис. 8. Схематическое изображение процесса дешифрирования результатом, которого является почвенная карта (в) ключевого участка №1.

Исследование неоднородностей почвенного покрова показало разнообразие форм и причин деградации почв сухостепных территорий, а также позволило подтвердить перечень деградационных явлений в почвах, которые необходимо исследовать для диагностики опустынивания данных территорий: засоление, осолонцевание, водная эрозия, опесчанивание, обесструктуривание, уплотнение и коркообразование.

3.2. Засоление.

Засоление является одной из главных проблем, с которой сталкивается сельское хозяйство в условиях засушливого климата. Накопление солей в почвенном профиле угнетает рост и развитие растений, что приводит к снижению урожайности или к полной гибели сельскохозяйственных культур.

Засоление - это одна из главных причин, приводящих к опустыниванию почв Южной Сибири, Центральной и Средней Азии, Индии, Западного Китая, Заволжья и Прикаспия и др. (Ковда и др., 1974)

Таким образом, при изучении опустынивания следует хорошо понимать основные причины и механизмы засоления почв, а также индикаторы, по которым можно зафиксировать этот процесс и охарактеризовать его.

Засоление почв происходит в результате процесса соленакопления, который может охватывать как почвенный покров, толщу материнской породы и почвенные растворы, так и грунтовые воды.

Соленакопление в грунтовых водах.

В.А. Ковда выделяет следующие основные факторы, определяющие формирование минерализации и химизма грунтовых вод:

- 1) Исходный химизм источников, питающих грунтовые воды;
- 2) Свойства водовмещающих горизонтов и взаимодействие грунтовых вод с ними;
- 3) Условия теплового и газового режима воды;
- 4) Воздействие организмов;
- 5) Характер баланса грунтовых вод.

Соленакопление в почвенных растворах.

В автоморфных почвах происхождение почвенных растворов обязано исключительно влаге атмосферных осадков, задерживающейся в почве. Для орошаемых почв необходимо учитывать также поливную влагу.

Почвенные растворы гидроморфных почв представляют собой совокупность влаги осадков, задержанной почвой, и влаги, приходящей от грунтовых и поверхностных вод. При этом роль грунтовых вод в образовании почвенных растворов будет варьировать в зависимости от залегания грунтовых вод и атмосферного увлажнения (Ковда, 1984).

В свою очередь, повышение концентрации легкорастворимых солей в грунтовых водах и почвенных растворах сопровождается одновременным переходом в осадок и накоплением менее растворимых солей в грунте и почвенных горизонтах.

В пустынных условиях один из факторов, определяющих плодородие почв – их солевой режим. Незначительное изменение хотя бы одного из факторов, определяющих соленакопление, приводит к трансформации – к засолению либо рассолению (Снижение уровня ..., 1981).

Рассмотрим наиболее частые ситуации, при которых происходит засоление почв (на основе данных Андреевой, 2002; Ковды, 1984; Опустынивание ..., 2009).

1) При орошении засоление почв может развиваться по следующим сценариям.

а) Орошение → увеличение объема поверхностных вод → подъем уровня грунтовых вод → вторичное засоление и осолонцевание (в случае если грунтовые воды минерализованные).

б) Орошение (минерализованные воды) → формирование почв засоленного ряда.

2) При строительстве оросительных систем.

Строительство оросительных систем → влияние на поверхностные воды → создание искусственной гидрографической сети → утечка воды из каналов с проницаемым ложем → формирование зон растекания → подъем уровня грунтовых вод → вторичное засоление и осолонцевание (в случае если грунтовые воды минерализованные).

3) При отгонном животноводстве.

Отгонное животноводство → влияние на растительность → снижение проективного покрытия → снижение транспирации и увеличение прогреваемости → выпотной водный режим → подтягивание солевых растворов → засоление

4) Импульверизационное засоление почв, т.е. привнесение на её поверхность солей в виде пыли или с атмосферными осадками.

5) Очаги поверхностного засоления возникают также при воздействии галофитной растительности, способствующей выносу солей из глубоких горизонтов почвы на поверхность.

Перечисленные сценарии, осуществляясь по отдельности или в сочетании друг с другом, в конечном счете, приводят к засолению почв. Засоление почв может быть также вызвано или усилено в условиях аридизации климата.

3.2.1. Опустынивание почв при засолении.

Ранее, в ходе литературного обзора, мы пришли к выводу и приняли в качестве рабочей гипотезы идею о том, что недостаток доступной для растений влаги в вегетационный период является индикатором опустынивания почв.

Известно, что в различных типах засоленных почв существует предельное осмотическое давление, при котором растения начинают испытывать острый дефицит влаги. Например, для песчаных почв при сульфатном засолении оно составляет 150 МПа, а при хлоридном засолении — 260 МПа (Кочеткова, Минашина, 1983).

Подобной точки зрения придерживается и Е.И. Панкова (1992). Легкорастворимые соли увеличивают осмотическое давление почвенной влаги, снижают ее доступность для растений, оказывают специфическое токсичное действие на них, нарушают нормальное соотношение минерального питания, воздействуют на свойства почв, снижая их плодородие.

В.А. Ковда (1977) указывает на недоступность засоленной почвенной влаги для растений: «Для большинства растений-негалофитов засоленная почвенная влага является недоступной для питания, а некоторые соли (гипс, мирабилит и пр.) способны связывать часть почвенной влаги в кристаллическую форму. В результате засоления возникает недостаток влаги в почвах, что приводит к гибели растений-негалофитов».

Таким образом, несомненным является факт снижения доступности почвенной влаги для растений в результате засоления. При этом рядом авторов приводятся примеры инициализации в результате засоления других деградационных процессов/направлений, вызванных засолением почв.

Так, например, зарастание засоленных участков растениями галофитами приводит к усилению засоления. Корни и надземные части гало-ксерофитной растительности пустынь и полупустынь отличаются высокой зольностью (до 15-40% золы), солянковые кустарнички выносят на поверхность хлориды, карбонаты и сульфаты натрия, чем способствуют засолению и осолонцеванию почв (Ковда и др., 1974).

Об этом говорит и Т.М. Кудерина (1999): «в аридных условиях с хорошо развитой галофитной растительностью и отсутствием речного и интенсивного подземного стоков наблюдается миграция солей с транспирационным потоком, оказывающая существенное влияние на распределение солей в верхних ярусах ландшафта».

Опустынивание		Засоление
- увеличение накопления солей; - снижение выщелачивания; - увеличение концентрации солей в почвенных и поверхностных водах; - вторичное засоление.		- снижение доступности почвенной влаги; - воспрепятствование потребления питательных веществ; - снижение биоразнообразия; - нарушение плотности растительного покрова; - дегумификация; - ухудшение теплового и водно-физического режима почв; - неблагоприятные последствия орошения, перевыпаса скота и вырубки лесов.

Рис. 9. Схема взаимосвязей между параметрами и последствиями опустынивания и засоления (Szabolcs, 1996).

В.Е. Приходько (2009) связывает засоление со следующими процессами: «развитие вторичного засоления орошаемых почв приводит к

снижению продуктивности растений и соответственно – к меньшему возврату в почву органических остатков. Далее наблюдается лавинообразное ухудшение почв. Происходит потеря ими органического вещества (гумуса) ...И это ведет к разрушению почвенной структуры, уплотнению и т.п.».

I. Szabolcs (1996) считает, что опустынивание и засоление почв тесно связаны друг с другом. Это взаимодействие он выразил в схеме, представленной на рисунке9.



Рис.10. Схема деградационных процессов, приводящих к опустыниванию почв при засолении почв.

Обобщение имеющихся представлений о причинах опустынивания, связанных с развитием процессов засоления, представлено на составленной нами схеме на рисунке 10. Эта схема подчеркивает, что опустынивание почв при засолении происходит в результате снижения доступности почвенной влаги для растений-негалофитов. Именно недостаток влаги в почве инициирует гибель растений и такие деграционные процессы как дегумификация, ухудшение водно-физических свойств почв и т.п., которые в целом снижают показатели биопродуктивности почв, а, следовательно, приводят к опустыниванию.

3.2.2. Подходы к оценке опустынивания почв при засолении.

По величине засоления (ЕС).

Степень опустынивания почв при засолении можно оценивать по концентрации легкорастворимых солей в почвенном растворе. Для этого необходимо определить величину электропроводности почвенного раствора (ЕС) и оценить степень опустынивания по специальной шкале.

Данный подход описывается в работе I. Szabolcs(1992). В предложенной им таблице (табл. 3) указаны критерии, используемые для оценки степени опустынивания, в числе которых имеется показатель величины электропроводности почвенного раствора (ЕС - electrical conductivity of the soil saturation extract).

Однако стоит принять во внимание тот факт, что величина засоления, выраженная с помощью электропроводности, может значительно варьировать в небольшие временные интервалы. Легкорастворимые соли весьма подвижны и засоленный почвенный профиль за период дождей может значительно изменять величину засоления.

Поэтому для оценки типа солевого режима можно пользоваться так называемым коэффициентом сезонной аккумуляции, который получается от деления показателя осеннего содержания легкорастворимых солей в определенном слое почвы на показатель содержания солей весной. Это дает

возможность оценить, произошло ли (и в каком размере) в течение вегетационного периода увеличение запаса солей в тех или иных частях почвенного профиля (Мелиорация ..., 1967).

Таблица 3. Критерии для оценки степени опустынивания I. Szabolcs, 1992.

Степень опустынивания	Растительный покров	Величина электропроводности ЕС ($\mu\text{Sm/sm}$)	Урожайность
Slight (слабая)	Excellent to good range conditions	< 4000	Crop yields reduced by less than 10%
Moderate (умеренная)	Fair range conditions class	4000-8000	Crop yields reduced by 10 – 50%
Severe (сильная)	Poor range conditions class	8000 -15000	Crop yields reduced by 50 -90%
Very severe (очень сильная)	Land essentially denuded by vegetation	Salt efflorescence on the surface	Crop yields reduced by more than 90%

Измерение засоления почв может также проводиться в период между дождями (для орошаемых земель - между поливами), а также в период засухи.

По совокупности морфологических и химических признаков.

Помимо описанного выше способа оценки степени опустынивания почв при засолении, существует более комплексный подход, основанный на оценке степени засоления, а также ряда морфологических и химических признаков.

В пояснительной записке к карте антропогенного опустынивания аридных территорий СССР (Харин с соавт., 1978) представлена шкала, сопоставляющая степень засоления и опустынивания по четырем классам опустынивания (слабое, умеренно, сильное, очень сильное), которые соответствуют различным критериям засоления.

3.2.3. Оценка опустынивания почв при засолении (на локальных примерах).

Ключевой участок BER.

Для оценки опустынивания почв при засолении был использован ключевой участок, расположенный в 4х километрах на юго-восток от деревни Косика, Астраханской области (рис. 11).



Рис. 11. СнимкиLandsat-8. ИсточникGoogleEarth. Дата съемки 10.04.2013 (слева). Дата съемки 20.07.2013 (справа).

На данном ключевом участке было заложено два разреза. Разрез Ber_1 расположен на водоразделе, в верхней части старопахотного поля. Он представлен незасоленной бурой полупустынной слабодифференцированной легкосуглинистой почвой.

Разрез Ber_2 заложен в 400 метрах к северо-западу от Ber_1, в нижней части склона и находится в границах старопахотного поля. Описанный разрезом Ber_2 участок, представлен засоленной бурой полупустынной солонцеватой слабосмытой легкосуглинистой почвой, что хорошо диагностируется по космическим снимкам (рис.12).

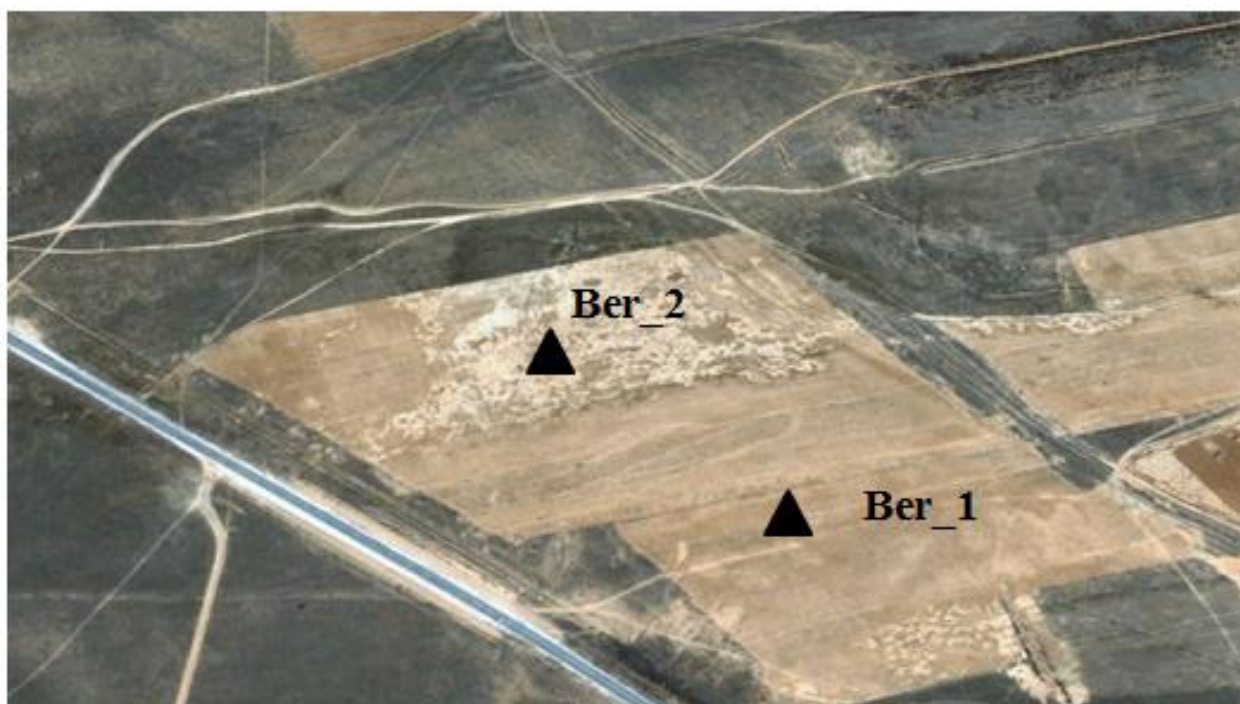


Рис.12. Разрезы Ber_1 и Ber_2 на космическом снимкеLandsat-7. Дата съемки 06.04.2005. Источник GoogleEarth.

Перепад высот между Ber_1 и Ber_2 составляет 5 метров.

Сравнение исследуемых почв приведено в таблице 4.

Таблица 4. Диагностические показатели почв ключевого участка BER.

Диагностические показатели	Ber_1	Ber_2
Название почвы	Бурая полупустынная слабодифференцированная легкосуглинистая	Бурая полупустынная среднесолонцеватая солончаковатая слабосмытая легкосуглинистая
<i>Показатели биопродуктивности</i>		
NDVI	0,12	0,05
Биомасса, г/м ²	88	35
Проективное покрытие, %	40	30
<i>Морфологические показатели</i>		
Признаки засоления и глубина появления новообразований	Нет	13 см и ниже, в форме белесоватых неконтрастных пятен и белые пятна (кристаллы солей).
Признаки осолонцевания	Нет	Гумусово-глинистые кутаны по граням структурных

Диагностические показатели	Ber_1	Ber_2
		отдельностей (ГТК по ГСО)
Гранулометрический состав В гор-та	Опесчаненный легкий суглинок	Средний суглинок
Граница вскипания от 10% HCL	90 см	13 см
<i>Физико-химические показатели</i>		
ЕС (гор-т А), $\mu\text{Sm/sm}$	67	111
ЕС (гор-т В), $\mu\text{Sm/sm}$	122	7800
pH (гор-т А)	7,91	7,41
pH (гор-т В)	8,41	9,01
pNa(гор-т В)	3,72	1,76
Содержание углерода (гор-т А)	0,34	0,62
Влагопроводность (методика LADA, мм/ч)	>3,6	>36
Водопрочность агрегатов по Андрианову (гор-т А)	39,25	15,75

Как следует из представленных выше данных, почва, описанная разрезом Ber_2, является сильно засоленной. В сравнении с величиной засоления горизонта В почвы Ber_1, степень засоления в горизонте В почвы Ber_2 в 64 раза выше.

Засоленная почва разреза Ber_2 имеет также низкие показатели биопродуктивности по отношению к незасоленной почвой разреза Ber_1.



Рис. 13. Проективное покрытие Ber_1 (слева) и Ber_2 (справа).

Кроме высокой степени засоления почвы разреза Ber_2 обладают худшими водно-физическими свойствами, чем незасоленные почвы разреза Ber_1.

Ухудшение водно-физических свойств вызвано, прежде всего, процессом осолонцевания, который диагностируется в почве Ber_2 по характерным признакам В горизонта: гумусово-глинистые кутаны по граням структурных отдельностей (ГГК по ГСО), утяжелением гранулометрического состава, щелочной реакцией среды в солонцовом горизонте ($pH=9,01$), а также показателем $pNa=1,76$.

Низкая влагопроводности водопрочность агрегатов также указывают на деградацию физического состояния засоленных почв разреза Ber_2.

Таким образом, выявленные в ходе диагностики деградационные процессы в почве разреза Ber_2 сводятся к:

- 1) Сильному засолению почвенного раствора и как следствие невозможностью использовать засоленную почвенную влагу растениями негалофитами;
- 2) Ухудшению водно-физических свойств почв в результате процесса осолонцевания, инициированного засолением почвенного профиля.

Рассмотренная на данном примере ситуация при которой засоление почвенного профиля «усложненное» процессами осолонцевания приводит к опустыниванию почв описана также в трудах I. Szabolcs, 1996; Т.М. Кудериной, 1999; В.Е. Приходько, 2009 .

Данные результаты подтверждаются оценкой степени опустынивания, полученной с использованием независимой методики (по критериям пояснительной записки к карте антропогенного опустынивания аридных территорий СССР, 1978)(табл. 5).

Таблица 5. Степень опустынивания для ключевого участка BER:

	Ber_1	Ber_2
Степень (класс) опустынивания	-	Сильная

Ключевой участок SOL.

Ключевой участок расположен на выровненной части Сарпинской низменности в 3х километрах к югу от деревни Солодники, Астраханской области (рис. 14). В настоящее время данная территория используется под пастбище.



Рис. 14. Ключевой участок Solна космических снимках Landsat-8.ИсточникGoogleEarth. Дата съемки 10.04.2013(слева). Дата съемки 24.08.2014 (справа).

На ключевом участке SOL, с учетом особенностей микронеоднородностей почвенного покрова изученных нами ранее, заложено два разреза по элементам микрорельефа. Разрез Sol_2, представленный незасоленной каштановой среднесиловой почвой, заложен на выровненном участке, заполненном преимущественно черной полыньей (*Artemisia vulgaris*).

Разрез Sol_2_1 расположен в 30 метрах от Sol_2 в замкнутой микрозападине диаметром 5 метров и представлен каштановой солончаковой почвой.

Анализ данных таблицы (табл. 6) показал, что почвы, расположенные в микропонижении, являются слабозасоленными. Величина засоления почвенного раствора в 1880 $\mu\text{Sm}/\text{cm}$ может приводить к снижению продуктивности большинства культурных растений.

Рассмотрим показатели биопродуктивности исследуемых почв. Вегетационный индекс NDVI в данном случае практически одинаковый (0,16 и 0,17 соответственно) и не может использоваться в качестве критерия

оценки биопродуктивности, так как исследуемые почвы расположены на расстоянии 30 м друг от друга. Это расстояние соответствует пространственному разрешению (30 метров) используемых для расчета NDVI снимков, т.е. оба разреза могут находиться в одном пикселе.

Таблица6. Диагностические показатели почв ключевого участка BER.

Диагностические показатели	Sol_2	Sol_2_1
Название почвы	Каштановая обычная (карбонатная) среднемошная на хвалынских суглинках	Каштановая обычная солончаковатая мощная на хвалынских суглинках
<i>Показатели биопродуктивности</i>		
NDVI	0,16	0,17
Биомасса, г/м ²	341	56
Проективное покрытие, %	50	70
<i>Морфологические показатели</i>		
Признаки засоления и глубина появления новообразований	Нет	30 см и ниже, в форме белесоватых неконтрастных пятен
Признаки осолонцевания	Незначительные ГГК по ГСО в АВ	Незначительные ГГК по ГСО в АВ, АВ лучше оструктурен чем в профиле SOL_2
Гранулометрический состав В гор-та	Средний суглинок	Средний суглинок
Граница вскипания от 10% HCL	Слабое вскипание с 5 см	Слабое вскипание с 12 см
<i>Физико-химические показатели</i>		
ЕС (гор-т А), $\mu\text{Sm/sm}$	186	76
ЕС (гор-т В), $\mu\text{Sm/sm}$	711	1880
pH (гор-т А)	8,38	7,34
pH (гор-т В)	9,23	8,6
pNa(гор-т В)	3,25	3,54
Содержание углерода (гор-т А), %	1	1,25
Влагопроводность (методика LADA, мм/ч)	>36	>36

Диагностические показатели	Sol_2	Sol_2_1
Водопрочность агрегатов (гор-т А), %	58	53,75

Величина биомассы на поверхности почвы, описанной разрезом Sol_2_1 в 6 раз меньше чем в точке Sol_2, при этом плотность проективного покрытия в точке Sol_2_1 немного выше, что объясняется большим количеством низкорослой растительности (рис. 15).



Рис. 15. Проективное покрытие Sol_2 (слева) и Sol_2_1 (справа).

Морфологические и физико-химические показатели сравниваемых нами почв весьма похожи. Это связано с незначительным отдалением заложённых разрезов друг от друга, а, следовательно, схожими условиями почвообразования.

Так, в исследуемых почвах имеются незначительные морфологические признаки солонцеватости, при этом величина pNa (>3) указывает на отсутствие актуальных признаков процесса осолонцевания. Схожими являются и водно-физические свойства рассматриваемых почв. Так, величина влагопроводности, определенная по методике LADA, составляет более 36 мм/ч, а водопрочность агрегатов составляет 53-58%.

Таким образом, снижение биопродуктивности засоленных почв разреза Sol_2_1, скорее всего объясняется исключительно повышением содержания легкорастворимых солей, что в схожих почвенно-климатических условиях приводит к снижению уровня доступной почвенной влаги для растений в вегетационный период. Однако, учитывая высокую подвижность

легкорастворимых солей, снижение биопродуктивности может быть также связано с сезонностью, условиями увлажнения и т.д.

Полученные результаты подтверждаются оценкой степени опустынивания, полученной с использованием независимой методики (по пояснительной записке к карте антропогенного опустынивания аридных территорий СССР, 1978) (табл. 7).

Таблица 7. Степень опустынивания для ключевого участка SOL:

	Sol_2	Sol_2_1
Степень (класс) опустынивания	-	умеренная

Ключевой участок PRI.

В качестве одного из объектов для диагностики опустынивания почв при засолении был использован ключевой участок PRI, расположенный в 3х километрах на юго-запад от озера Эльтон (Палласовский район, Волгоградская область) (рис. 16).

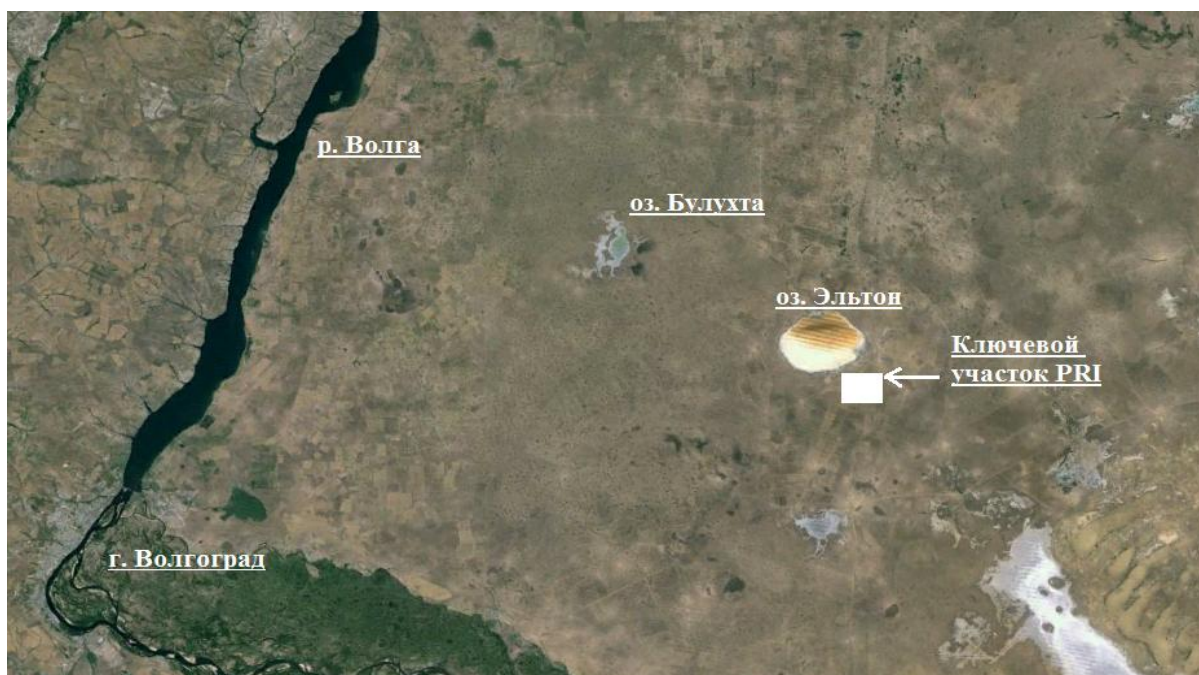


Рис.16. Ключевой участок PRI на космическом снимке Landsat-8. Дата съемки 10.04.2013. Источник GoogleEarth.

На примере данного ключевого участка мы попытаемся проверить: действительно ли снижается доступность почвенной влаги для растений при

засолении? На рассмотренных выше примерах, а также на основе обзора литературных данных установлено, что засоление почв приводит к снижению доступности почвенной влаги для растений в вегетационный период.

Как мы уже говорили ранее главным инструментом определения доступности влаги для растений в данной работе является расчет, построение и изучение основной гидрофизической характеристики почв.

Воздействие легкорастворимых солей на водоудерживающую способность почв, доступность растениям и подвижность почвенной влаги не однозначно и проявляется в зависимости от ряда факторов, среди которых важное значение имеет дисперсность (Смагин, 2003, Шеин, 2005). Так в грубодисперсных (песчаных) почвах практически засоление не влияет на ОГХ, увеличивая (по модулю) лишь полный потенциал и тем самым водоудерживающую способность почв в особенности в иссушенном состоянии при выпадении солей за счет их гигроскопичности. Подвижность жидкой влаги при этом не меняется, а ее доступность растениям уменьшается, вплоть до полного отсутствия с ростом концентрации и, соответственно, осмотического давления порового раствора (Смагин, 2012). В тонкодисперсных почвах и грунтах действие засоления проявляется в большей мере через ионно-электростатический барьер, предохраняющий тонкие частицы от коагуляции, и дающий тем самым их поверхностной энергии участвовать в связывании влаги (Смагин, 2003, Шеин, 2005). Ширина указанного барьера (λ), обратно пропорциональна квадратному корню из произведения концентрации (C) раствора и квадрата заряда (валентности) ионов (z) (Смагин, 2003): $\lambda \sim \frac{1}{\sqrt{Cz^2}}$. Поэтому рост концентрации,

а в еще большей мере – заряда катионов, снижает ширину барьера в виде диффузионного слоя ионов и тонкие частицы, коагулируя друг с другом, элиминируют свою поверхностную энергию, как главный фактор расклинивающего давления, а значит, и возможность удерживать воду в

прежних (до коагуляции) количествах. Это отражается смещением ОГХ влево, то есть уменьшением равновесной влажности при неизменном давлении влаги или давления (по модулю) при неизменной влажности (Смагин, 2003). Тот же механизм справедлив и для подвижности влаги, которая под воздействием солевых растворов будет в тонкодисперсных почвах увеличиваться, на чем основан известный в мелиорации эффект солевых промывок солонцов. Доступность влаги растениям по ОГХ, казалось бы, тоже увеличивается вслед за снижением водоудерживающей способности, но надо помнить, что это кажущееся увеличение, поскольку влага – соленая, а значит, может быть не доступной растениям из-за высокого осмотического давления. В этом случае диагностика опустынивания по ОГХ, очевидно, нуждается в дополнительном критерии – ПГХ, о чем мы писали выше.

Для того чтобы выявить данную закономерность нами были отобраны два почвенных профиля, находящиеся в схожих почвенно-экологических условиях.

Разрез Pri 1_1 расположен на старопахотном поле. В настоящее время данная территория используется для выпаса скота. Разрез Pri 1_1 представлен светло-каштановой солонцеватой почвой.

Разрез Pri 1_4 заложен в 6 километрах к северу от Pri 1_1, непосредственно у границ загона для скота (коша) и представлен светло-каштановой солончаковатой почвой.

Сравнение исследуемых почв проводится с помощью диагностической таблицы со специальным набором диагностических показателей (табл. 8), которые позволяют оценить физико-химические свойства сравниваемых почв, их морфологические особенности, показатели биопродуктивности.

В данном случае, выбор диагностических признаков определяется, прежде всего, теми почвенными свойствами, которые оказывают влияние на ОГХ.

Таблица 8. Диагностические показатели почв ключевого участка PRI.

Диагностические показатели	Pri 1_1	Pri 1_4
Название почвы	Светло-каштановая слабосолонцеватая среднемощная среднесуглинистая старопахотная	Светло-каштановая солончаковатая слабосолонцеватая маломощная легкосуглинистая старопахотная
<i>Показатели биопродуктивности</i>		
NDVI	0,15	0,01
Проективное покрытие, %	60	5
<i>Морфологические показатели</i>		
Признаки засоления и глубина появления новообразований	Нет	30 см и ниже, в форме прожилок и белых пятен (кристаллы солей).
Признаки осолонцевания	Ореховато-призматическая структура горизонта В1, ГГК по ГСО в горизонте В1	Глыбисто-ореховатая структура гор-та В, ГГК по ГСО
Гранулометрический состав В гор-та	Тяжелый суглинок	Тяжелый суглинок
Мощность гумусовых горизонтов	21	17
Сложение, В горизонта	Плотное	Плотное
<i>Физико-химические показатели</i>		
ЕС (гор-т А), $\mu\text{Sm}/\text{sm}$	57	348
ЕС (гор-т В), $\mu\text{Sm}/\text{sm}$	800	4000
pH (гор-т В)	9.61	8.37
pNa (гор-т В)	2,41	2,56
Водопрочность агрегатов по Андрианову (гор-т А)	76,75	28
Содержание углерода, %	0,94	1,85

Анализ диагностической таблицы (табл. 8) показывает, что почвы разреза Pri 1_4 являются умеренно засоленными, а также обладают значительно меньшими показателями биопродуктивности, чем почвы разреза Pri 1_1. Из общего фона выделяется показатель содержания гумуса, который

для засоленных почв практически вдвое больше. Это объясняется избытком экскрементов в результате выпаса скота.

В целом же, сравниваемые почвы характеризуются достаточно схожими морфологическими и физико-химическими показателями. Они являются слабосолонцеватыми с морфологически выраженными признаками солонцеватости в В горизонте и величиной pN_{av} в диапазоне 2,4-2,6.

Оценку схожести по минералогическому и гранулометрическому составу сравниваемых почв мы провели с помощью анализа дифференциальных кривых распределения частиц по размерам (рис. 17). Значительное сходство содержания частиц разных фракций в горизонтах В исследуемых почв подтверждает единство почвообразующих пород, а также схожесть минерального и гранулометрического состава, что исключает влияние этих параметров на отклонение кривой ОГХ (рис. 18).

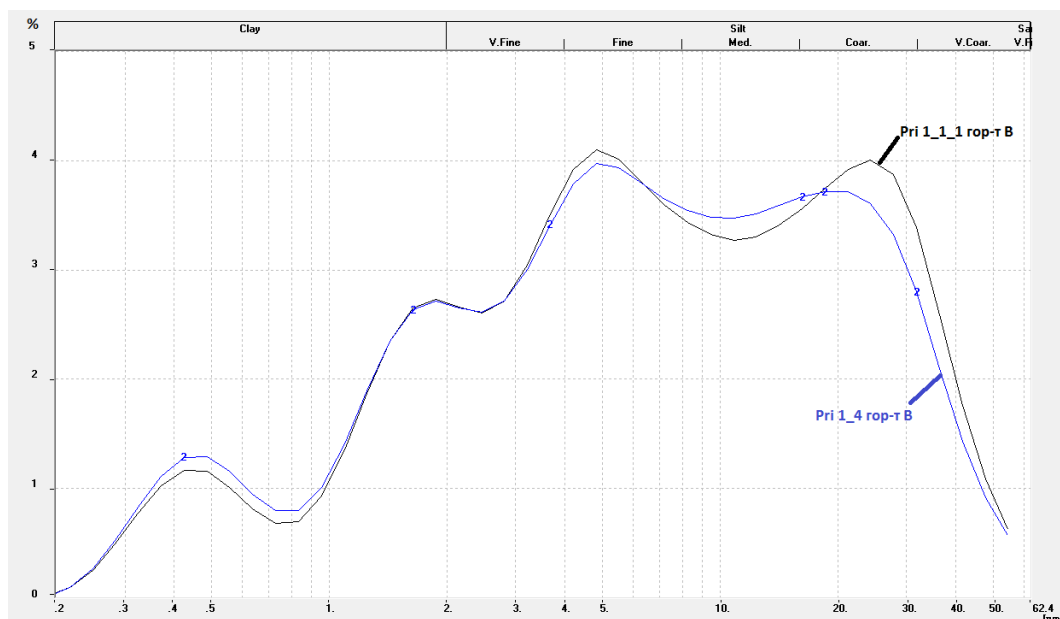


Рис. 17. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам горизонтов В (разрезы Pri 1_1_1 и Pri 1_4).

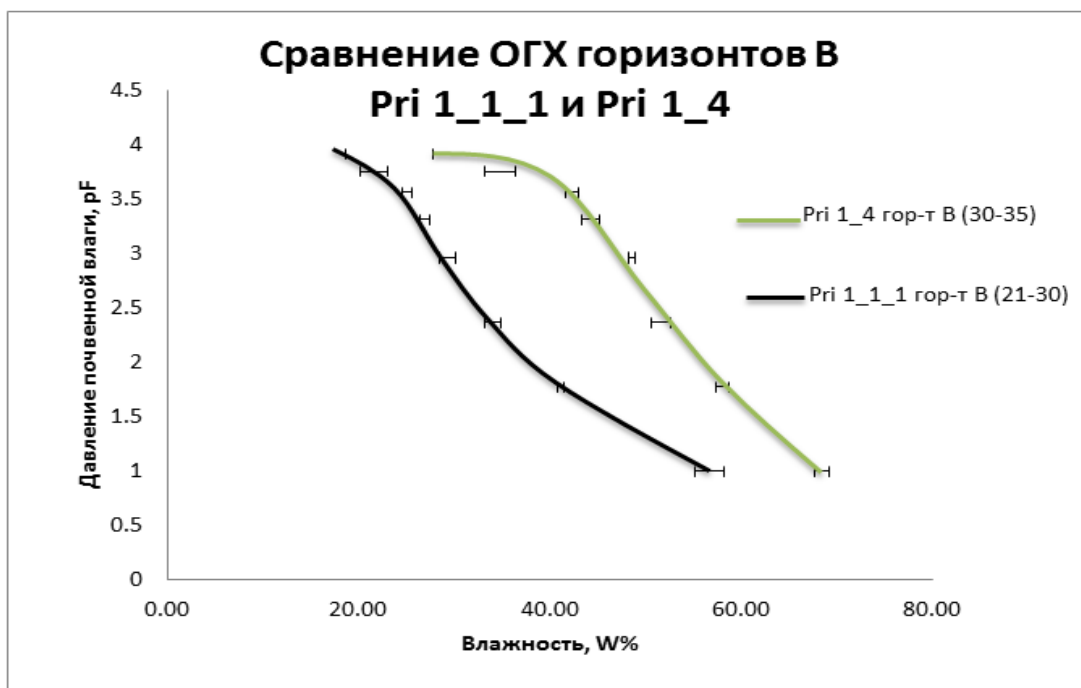


Рис. 18. Кривые ОГХ горизонтов В почв Pri 1_1 и Pri 1_4.

Е.В. Шеин (2005) отмечает, что воздействие легкорастворимых солей на диффузный слой ионов, определяет снижение водоудерживающей способности почв. Если минерализация порового раствора будет увеличиваться, толщина двойного диффузного слоя уменьшится, уменьшится и его влияние на расклинивающее давление. Частицы легко могут располагаться друг с другом, между ними не будет «накачиваться» вода за счет действия расклинивающего давления. Кривая ОГХ сместится при засолении влево, в сторону меньших влажностей.

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно убедиться, что расположение кривой ОГХ горизонта В почвы Pri 1_4 левее (рис. 18), чем кривая ОГХ горизонта В почвы Pri 1_1. Поскольку гранулометрический состав обоих горизонтов – тяжелосуглинистый, согласно описанному выше физическому механизму, увеличение концентрации легкорастворимых солей в 5 раз ($= 4000 \mu\text{Sm/sm} / 800 \mu\text{Sm/sm}$) должно уменьшать водоудерживающую способность (количество, удерживаемой тонкими частицами равновесной влаги) не более чем в $\sqrt{5}=2,2$ раз при условии близкого химического состава раствора. И действительно, максимальное снижение влажности, судя по рис.

22, не превышает 2 кратного значения. Доступность влаги при этом формально увеличивается. Так для влажности 50% равновесные значения рF падают от 3 до 1,5 единиц, то есть потенциал влаги, или работа, которую надо затратить против капиллярно-сорбционных сил, чтобы извлечь данное количество воды из почвы уменьшается в $10^{1,5}=32$ раза. Но надо помнить о том, что это соленая влага: $4000 \mu\text{Sm/sm} = 4 \text{ dSm/m}$, - градация начала слабого засоления, что для нетолерантных по такому фактору видов (бобовые, зонтичные, луковичные, плодовые деревья) может приводить к снижению продуктивности от 50% и выше, вплоть до гибели (Смагин и др., 2006, Смагин, 2012).

Полученные результаты подтверждаются оценкой степени опустынивания, полученной с использованием независимой методики (по пояснительной записке к карте антропогенного опустынивания аридных территорий СССР, 1978) (табл. 9).

Таблица 9. Степень опустынивания для ключевого участка PRI.

	Pri 1_1	Pri 1_4
Степень (класс) опустынивания	слабая	умеренная

Вывод.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для диагностики опустынивания почв при засолении необходимо определять ряд диагностических показателей включающих в себя: степень минерализации почвенного раствора (ЕС); морфологическую выраженность засоления (форма новообразований и глубина их проявления); факторы определяющие водоудерживающую способность почв т.д., а также взаимосвязь этих показателей с показателями биопродуктивности почв.

В ходе исследования подтвердилась сформулированная в качестве рабочей гипотезы идея о том, что снижение доступности почвенной влаги

для растений можно использовать в качестве индикатора опустынивания почв при их засолении.

Рассмотренные выше примеры также указывают, что проявления опустынивания в почвах зачастую тесно связаны друг с другом и установить вклад каждого из них в общую степень деградации (опустынивания) почв весьма сложно. Например, засоление и осолонцевание нередко проявляются вместе и оказывают негативное воздействие на доступность почвенной влаги для растений.

3.3. Осолонцевание.

Осолонцевание, так же как и засоление, является одной из первостепенных причин опустынивания. Например, на территории Российской Федерации 39,5% подверженных опустыниванию земель имеют признаки осолонцевания почв (Куст, 1999).

Осолонцевание - это элементарный почвенный процесс, обусловленный внедрением в почвенный поглощающий комплекс (ППК) обменного натрия, что приводит к возникновению в почве признаков солонцеватости: пептизация коллоидов, обесструктурирование, появление в почвенном растворе соды (Na_2CO_3 , NaHCO_3) и подщелачивание среды до pH 8.6-8.9 и выше.

Осолонцевание как одна из причин опустынивания почв связано с эволюцией гидроморфных и полугидроморфных природных комплексов в автоморфные равновесные с макроклиматом. Этот путь опустынивания широко распространен и, как правило, бывает вызван естественными или антропогенными причинами обсыхания обширных водно-аккумулятивных равнин варидных и засушливых регионах мира.

Наибольшее внимание при этом в научной литературе уделяется обычно обсыхающим оазисам аридных территорий, поскольку именно в них сконцентрированы основные земельные ресурсы пустынной зоны, пригодные для ведения орошаемого земледелия и производства сельскохозяйственной

продукции. Широко развиты процессы современного опустынивания в полупустынной зоне — на обширных равнинах Прикаспийской низменности, сложенных аллювием Терека, Кумы, Волги, Урала, Эмбы.

Вместе с тем, в гораздо меньшей степени аридизации могут быть подвержены также и территории обширных водно-аккумулятивных равнин менее засушливых сухостепных, степных и даже лесостепных областей. Например, обширные палеогидроморфные равнины Юга Западной Сибири — Кулундинская и Барабинская низменности; Восточной Европы — Тамбовская, Окско-Донская, Сальско-Манычская низменности, Дунай-Днестровское междуречье, междуречье Дона и Кубани и другие (Куст, 1999).

Тектоническое поднятие и эрозионное расчленение низменностей приводит к опусканию уровня грунтовых вод. Грунтовые воды (или поверхностные воды) исключаются как фактор соленакопления, и процессы засоления прекращаются. Однако в аридных областях накопившиеся массы солей очень долго сохраняются в почвах, грунтах и грунтовых водах. Процессы рассоления идут очень медленно, но все же тем быстрее, чем больше количество осадков и лучше естественная дренированность местности. Поэтому процессы рассоления значительно эффективнее в более увлажненных областях полупустыни.

Рассмотрим наиболее частые ситуации, при которых происходит осолонцевание почв (на основе данных О.В. Андреевой, 2002).

1) При орошении осолонцевание почв может развиваться по сценарию:
Орошение → увеличение объема поверхностных вод →
подъем уровня грунтовых вод → осолонцевание (в случае если грунтовые воды минерализованные).

2) При строительстве оросительных систем.

Строительство оросительных систем → влияние на
поверхностные воды → создание искусственной гидрографической сети
→ утечка воды из каналов с проницаемым ложем →

- > формирование зон растекания —> подъем уровня грунтовых вод
- > осолонцевание (в случае если грунтовые воды минерализованные).

3) При отгонном животноводстве.

- Отгонное животноводство —> влияние на растительность —> снижение проективного покрытия —> снижение транспирации и увеличение прогреваемости —> ~~выпотной~~ водный режим —> подтягивание солевых растворов —> осолонцевание.

4) При распашке.

- Распашка —> перемешивание верхних горизонтов —> вовлечение в пахотный слой солонцового горизонта —> осолонцевание

Перечисленные сценарии антропогенного характера, а также ряд естественных процессов, осуществляясь по отдельности или в сочетании друг с другом, в конечном счете, приводят к осолонцеванию почв.

Рассмотрим, каким образом осолонцевание может приводить к опустыниванию почв.

3.3.1. Опустынивание почв при осолонцевании.

Осолонцевание - один из сложнейших почвенных процессов, диагностика которого является весьма трудоемким процессом. Поэтому считаем необходимым кратко рассмотреть строение и свойства солонцов, а также роль солонцового процесса в опустынивании почв.

Агрофизические свойства солонцового горизонта очень плохие – при увлажнении он сильно набухает, приобретает высокую пластичность, текучесть, вязкость, резко уменьшается порозность, воздух вытесняется, и растения испытывают кислородное голодание. При подсыхании, в результате усадки, плотность почвы возрастает до критической для нормального роста и развития растений. Образуются глыбы или столбообразные отдельности, разделенные трещинами. В результате корневая система рвется и «замуровывается» в глыбах или в «столбиках». Этот горизонт лимитирует плодородие солонцов.

В подсолонцовом горизонте благоприятные условия корни растений находят только в зоне гумусовых затеков. Особенностью этого горизонта является присутствие карбоната или бикарбоната кальция, реже гипса, реже -токсичных солей,

Принимая во внимание вышеизложенное, можно выделить факторы, лимитирующие плодородие солонцеватых почв и солонцов, которые в свою очередь могут приводить к опустыниванию.

Агрофизический фактор. Проявляется в отсутствии агрономически ценной структуры. Причину бесструктурности солонцовых почв впервые раскрыл русский ученый К.К. Гедройц, он разработал коллоидно-химическую теорию их образования, которая нашла широкое применение как у нас в стране, так и за рубежом(Возделывание ..., 1984).

Гидрологический фактор. В связи с тем, что солонцы обладают отрицательными структурно-механическими свойствами, водопроницаемость у них очень низкая, в 10-15 раз меньше, чем у несолонцеватых почв. Отсюда – плохое поглощение атмосферных осадков. Второй особенностью водного режима солонцов является высокий процент недоступной для растений воды. Это обусловлено высоким содержанием в солонцах коллоидных частиц и минеральных солей, которые прочно связывают воду, и силы осмотического давления корней культурных растений оказывается недостаточно для того, чтобы всосать её(Возделывание ..., 1984).

Физиологический фактор. Так как солонцы образуются при рассолении солончаков или других засоленных почв, они в том или ином количестве содержат минеральные соли, которые могут быть токсичными для растений (Возделывание ..., 1984).

Следует отметить, что обменный натрий оказывает отрицательное влияние на развитие растений не только косвенно, ухудшая физические свойства почвы, он вредно действует и непосредственно, создавая высокую щелочность почвенного раствора, особенно при наличии в почвенном растворе соды (рН выше 8,5), или же из-за недостатка обменного кальция.

Токсичное действие соды на растения (даже в небольших концентрациях) очень сильное. Также отмечается, что выпадение растений при небольших значениях щелочности (рН около 8) может быть вызвано кальциевым голоданием растений при неправильном соотношении между Ca, Mg и Na (Освоение и повышение ..., 1962).

Таким образом, солонцы, а также солонцовые почвы обладают рядом отрицательных агрофизических и химических свойств, которые приводят к недостатку доступной почвенной влаги для растений. В частности, неблагоприятная агрономическая структура солонцового горизонта затрудняет проникновение корней растений вглубь почвенного профиля, а высокая реакция среды делает непригодной почвенную влагу для корневого питания растений.

Фундаментальное изучение водного режима и баланса полупустынных почв было проведено в северо-западной части Прикаспийской низменности в СССР (Ковда, 1950; Роде, 1962).

Благодаря перераспределению снега и талых вод между элементами микрорельефа солонцы недополучают в год до 56 мм зимних осадков, микросклоны получают всю сумму годовых осадков, а западины - дополнительно 200 мм влаги за счет стока с микроповышений. Поэтому почвы западин подвергаются периодическому сквозному промачиванию на 4-5 м до грунтовых вод, солонцы же промачиваются не глубже нижней границы солонцового горизонта, причем эта влага быстро теряется путем испарения и транспирации. Под солонцовым горизонтом в нижней половине первого метра почва постоянно не имеет физиологически доступной влаги. В пределах второго метрового слоя влажность начинает нарастать вплоть до капиллярной каймы грунтовых вод. Возрастание влажности вниз по профилю создает градиент всасывающего давления, который обуславливает постоянно существующий восходящий поток жидкой влаги, проникающий в почвенную толщу. Таким образом, непромывной водный режим верхней части профиля сочетается с десуктивно-испарительным в его нижней части (Роде, 1962).

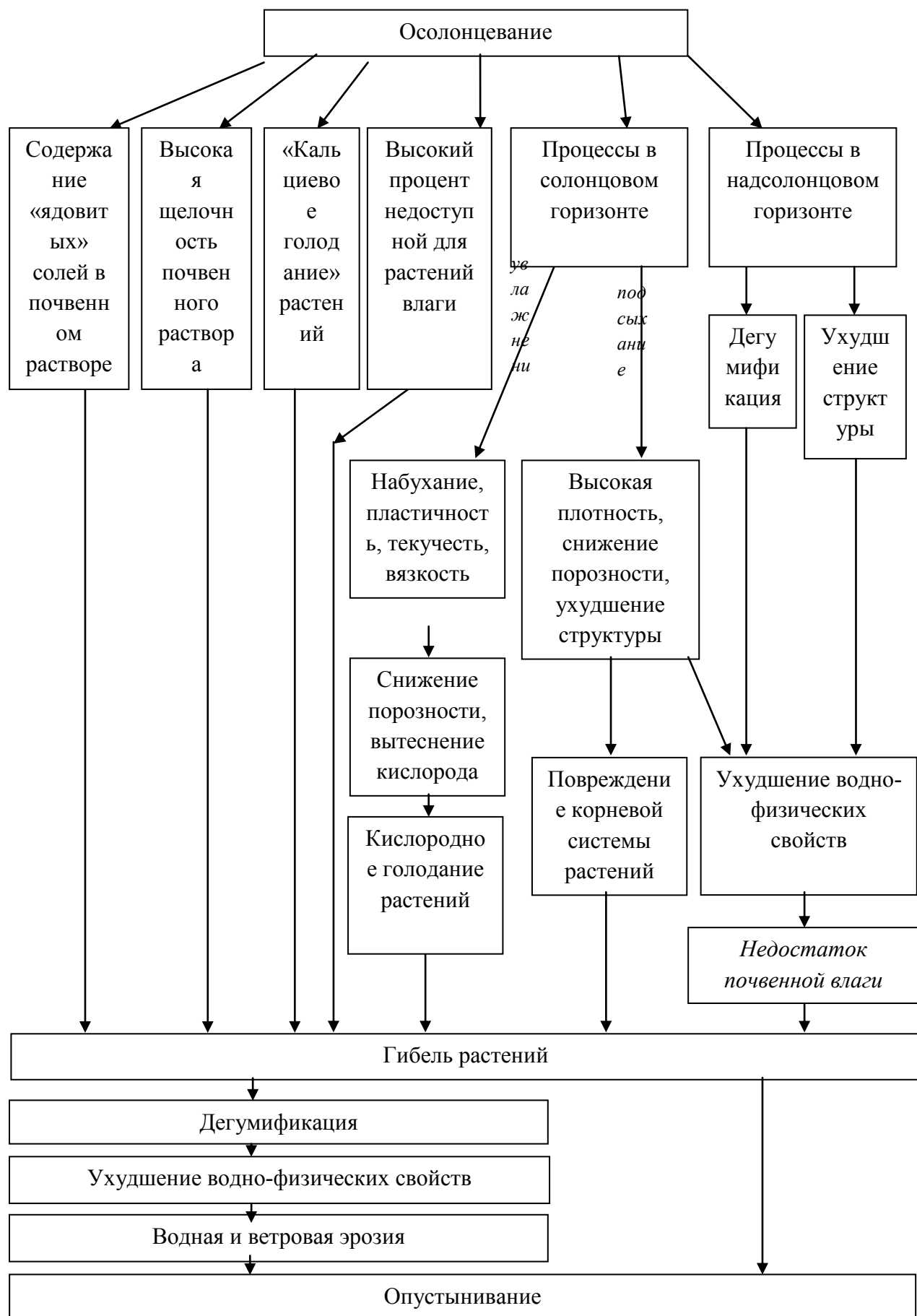


Рис.19. Схема проявлений опустынивания при осолонцевании.

Водный режим микросклонов полупустынных почв – непромывной. Почва промачивается на глубину 50-100 см. Как и в солонцах, здесь существует постоянный поток влаги от почвенно-грунтовых вод, однако он не проникает в толщу почвы, а заканчивается у нижней ее границы, где перехватывается корнями растительности и где в течение года нет запасов доступной влаги (Ковда, 1977).

Выше мы рассмотрели основные пути деградации почв под воздействием осолонцевания. Так как процессы осолонцевания и засоления во многом взаимосвязаны, то часть деградационных процессов будет свойственна как засоленным, так и солонцовым почвам. Для наглядности изложенной информации мы составили схему проявлений опустынивания при осолонцевании (рис. 19).

3.3.2. Оценка опустынивания почв при осолонцевании (на локальных примерах).

Ключевой участок Koch.

Для оценки изменений ОГХ при осолонцевании сравнивались объекты ключевых участков Koch и Vul (рис. 20). Выбор участков (Koch расположен в 6 километрах на восток от поселка Лиманный, Волгоградской области, Vul- в 20 км на северо-восток от озера Булухта) обусловлен их репрезентативностью для значительной части Прикаспийской низменности: локальные замкнутые понижения (мелкие и крупные лиманы) сочетаются с пологими слабоволнистыми равнинами.

Ключевой участок Koch описывает «классические» ландшафты основной части Прикаспийской низменности. Локальные замкнутые и полужамкнутые понижения (в данном случае лиман) сочетаются с пологими слабоволнистыми равнинами (преимущественно старопахотные участки). Пологие элементы участка представлены каштановыми солонцеватыми почвами, тогда как полужамкнутое понижение (лиман Кочкарный) занято луговыми осолоделыми почвами, что соответствует структуре почвенного покрова схожих ландшафтов изученных нами ранее.



Рис. 20. Ключевые участки Kochи Bulна космических снимках Landsat-8 (слева) и Spot(справа). Источник GoogleEarth.

В качестве эталона сравнения выбран разрез Bul_3, расположенный в 20 км на северо-восток от озера Булухта.

Разрез Koch_1 заложен на верхней части пологого склона юго-восточной экспозиции, заполненном полынью горькой (*Artemisia absinthium*). Проективное покрытие неоднородное (45%). Участок Koch находился в интенсивном пахотном земледелии до 2005 года, и в настоящее время активно используется под выпас.

Разрез Bul_3 расположен на пологом равнинном участке. По сельскохозяйственному назначению этот участок представляет собой целинный (на основе данных дистанционного зондирования в период с 1988 года по н.в. - не распахивался) используемый в настоящее время под сенокос. Растительный покров имеет проективное покрытие 60-80% и представлен следующими видами: Овсяница валийская (*Festuca valesiaca*) высотой более 30 см, овсяница луговая (*Festuca pratensis*), пятна полыни горькой (*Artemisia absinthium*), василек луговой (*Centaurea jacea*), кермек Гмелина (*Limonium gmelinii*), коровяк обыкновенный (*Verbascum thapsus*).

Таблица 10. Диагностические показатели почв ключевых участков Косчи Бул.

Диагностические показатели	Koch_1	Bul_3
Название почвы	каштановая солонцеватая среднемощная легкосуглинистая	темно-каштановая слабосолонцеватая мощная среднесуглинистая
<i>Показатели биопродуктивности</i>		
NDVI	0,29	0,307
Проективное покрытие, %	45	80
<i>Морфологические показатели</i>		
Признаки засоления и глубина появления новообразований	Нет	Нет
Признаки осолонцевания	Обильные ГГК по ГСО в горизонте В, плотное сложение гор-та В	Редкие ГГК по ГСО в горизонте В1
Структура гумусового горизонта	Глыбисто-комковато-порошистая	Зернисто-комковатая (бусы по корням)
Структура горизонта имеющего признаки осолонцевания	Мелкопризмовидная-крупноореховатая	Ореховато-комковатая
Гранулометрический состав В гор-та	Средний суглинок	Средний суглинок
Сложение горизонта А	Уплотненное	Рыхлое
Сложение горизонта В	Плотное	Уплотненное
Граница вскипания от 10% HCL	35 см	65 см
<i>Физико-химические показатели</i>		
ЕС (гор-т А), $\mu\text{Sm/sm}$	48	193
ЕС (гор-т В), $\mu\text{Sm/sm}$	99	120
pH (гор-т А)	7,38	7,61
pH (гор-т В)	8,9	8,77
pNa (гор-т В)	3,64	3,75
Содержание	1,31	3,8

Диагностические показатели	Koch_1	Bul_3
углерода в гумусовом горизонте, %		
Водопрочность агрегатов по Андрианову (гор-т А)	30,5	99,75

Как видно из таблицы 10, сравниваемые почвы являются. Одновременно, почвы объекта Koch_1 являются менее продуктивными, что находит отражение в меньшем (в 3 раза) содержании гумуса, разреженном проективном покрытии (рис. 21) и меньшей величине NDVI по сравнению с почвами Bul_3.



Рис. 21. Проективное покрытие Koch_1 (слева) и Bul_3 (справа).

Несмотря на то, что современный процесс осолонцевания слабо затрагивает сравниваемые почвенные разрезы Koch_1 и Bul_3 (на что указывают близкие для этих почв значения относительно низкой активности натрия при несколько повышенной щелочности иллювиальных горизонтов), их физические свойства подтверждают, что осолонцевание в Koch_1 выражено сильнее, что отражается, в том числе, в формировании менее ценной агрономической структуры гумусового горизонта и большей элювиально-иллювиальной дифференциации профиля по гранулометрическому составу.

При этом показатель водопрочности агрегатов по Андрианову, для гумусового горизонта «эталонной» почвы Bul_3 равен 99,75%, что в

совокупности с качественной в агрономическом плане зернисто-комковатой структурой указывает на высокое содержание веществ обладающих амфифильными свойствами, то есть гумуса. При этом для почвы Koch_1 этот показатель составляет только 30,5.

На основе предложенных Н.Г. Зыриным и Д.С. Орловым (1980) показателей солонцеватости почв на основе pNa почвы Koch_1 и Bul_3 (значения pNa 3,64 и 3,75 соответственно) не подвержены актуальному процессу осолонцевания. То есть существующие в данных почвах морфологические признаки солонцеватости являются следствием более ранних этапов развития данной территории.

Снижение содержания органического вещества в гумусовом горизонте солонцеватых почв, объясняется щелочным гидролизом гумусовых кислот и их последующим выносом в иллювиальный горизонт.

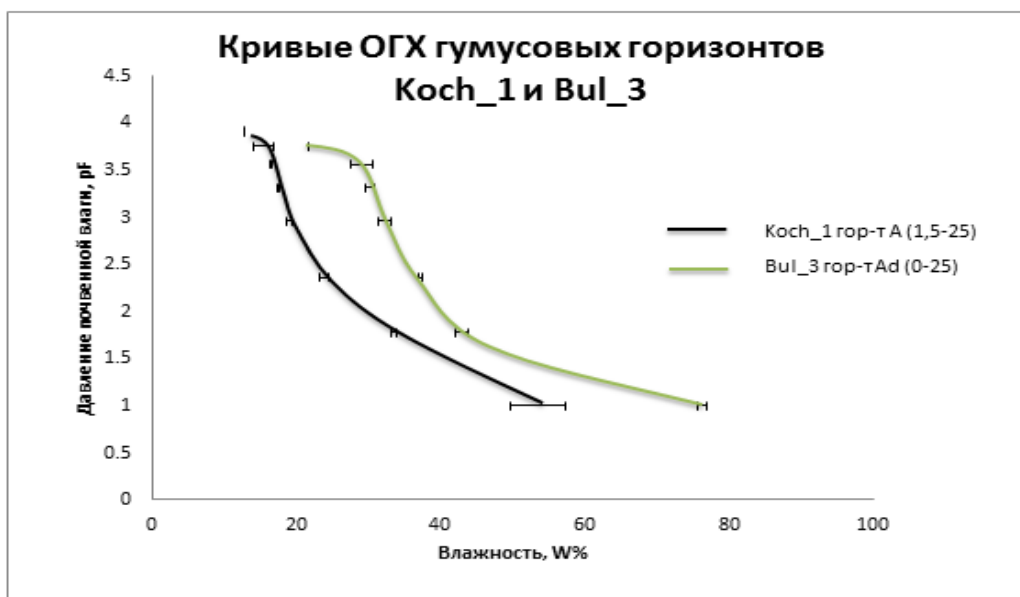


Рис. 22. Кривые ОГХ гумусовых горизонтов почв Koch_1 и Bul_3.

Таким образом, при деструкции органического вещества почвы происходит неизбежная деградация их физического состояния, фиксируемая по ряду таких показателей, как уплотнение и слитизация, дезагрегация, потеря водопрочности структуры, ухудшение водоудерживания и способности почвы проводить влагу и газообразные вещества (Смагин, Садовникова и др., 2004).

Рассмотрим, как сравнительно более высокое осолонцевание почв Koch_1 отразится на водоудерживающей способности гумусового горизонта по сравнению с почвами разреза Bul_3. Для этого сравним кривые ОГХ гумусовых горизонтов исследуемых почв (рис. 22).

Сравнение ОГХ гумусовых горизонтов исследуемых почв (рис. 22) позволяет сделать следующие выводы: смещение кривой ОГХ гумусового горизонта Koch_1 влево говорит о пониженной водоудерживающей способности, очевидно, за счет меньшего содержания амфифильных органических веществ (гумуса) и повышенного содержания крупных фракций гранулометрического состава в результате элювиального процесса, вызванного осолонцеванием.

Из рисунка 23 видно, что гумусовый горизонт разреза Bul_3 характеризуется значительно большим содержанием илистой фракции, что может быть обусловлено большим содержанием углерода по сравнению с гумусовым горизонтом разреза Koch_1.

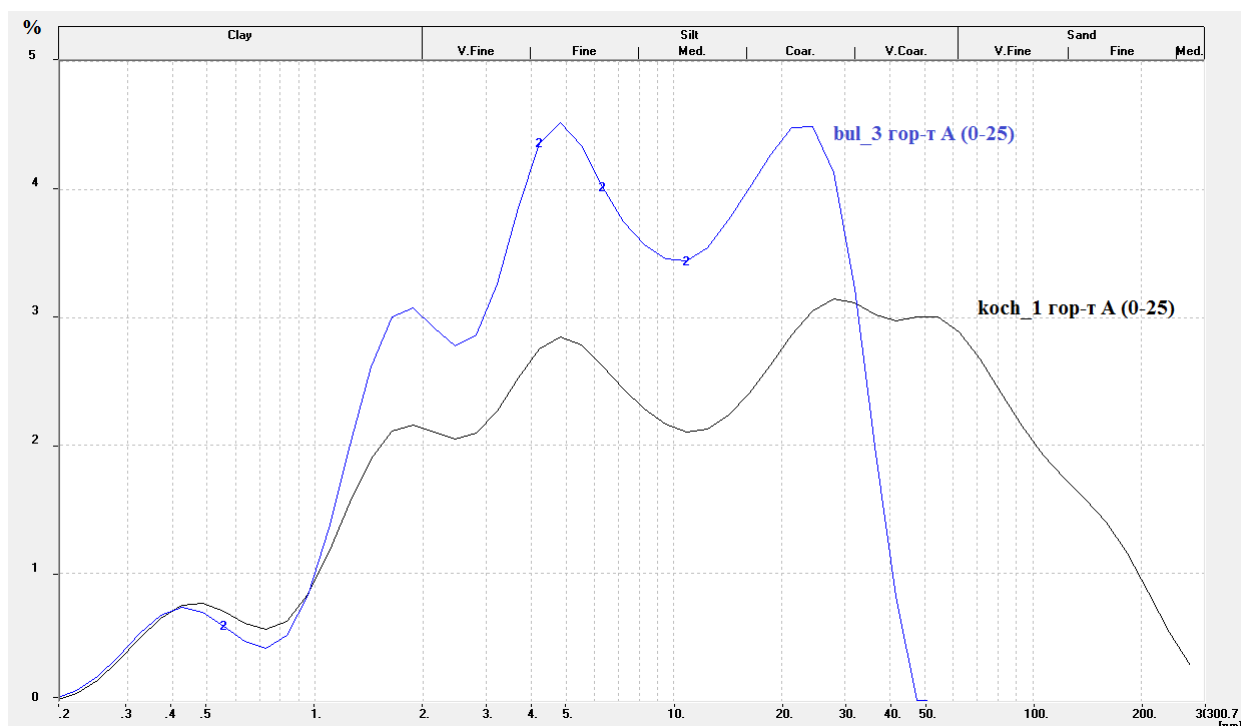


Рис. 23. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам почв Koch_1 и Bul_3.

Таким образом, вымытые в результате щелочного гидролиза гумусовые кислоты, потеря агрономически ценной структуры, уплотнение, а также потеря водопрочности структуры гумусового горизонта разреза Koch_1, привели к снижению водоудерживающей способности данного горизонта и как следствие к снижению доступности почвенной влаги для растений.

Как известно, процесс осолонцевания сопровождается выносом илистых частиц из элювиального горизонта в иллювиальные. Исследование распределения частиц по размерам в профиле солонцеватых и несолонцеватых используется нами в качестве диагностического признака деградации физического состояния почв при осолонцевании.

Рассмотрим распределение частиц по размерам взятой в качестве эталона почвы Bul_3 (рис. 24)

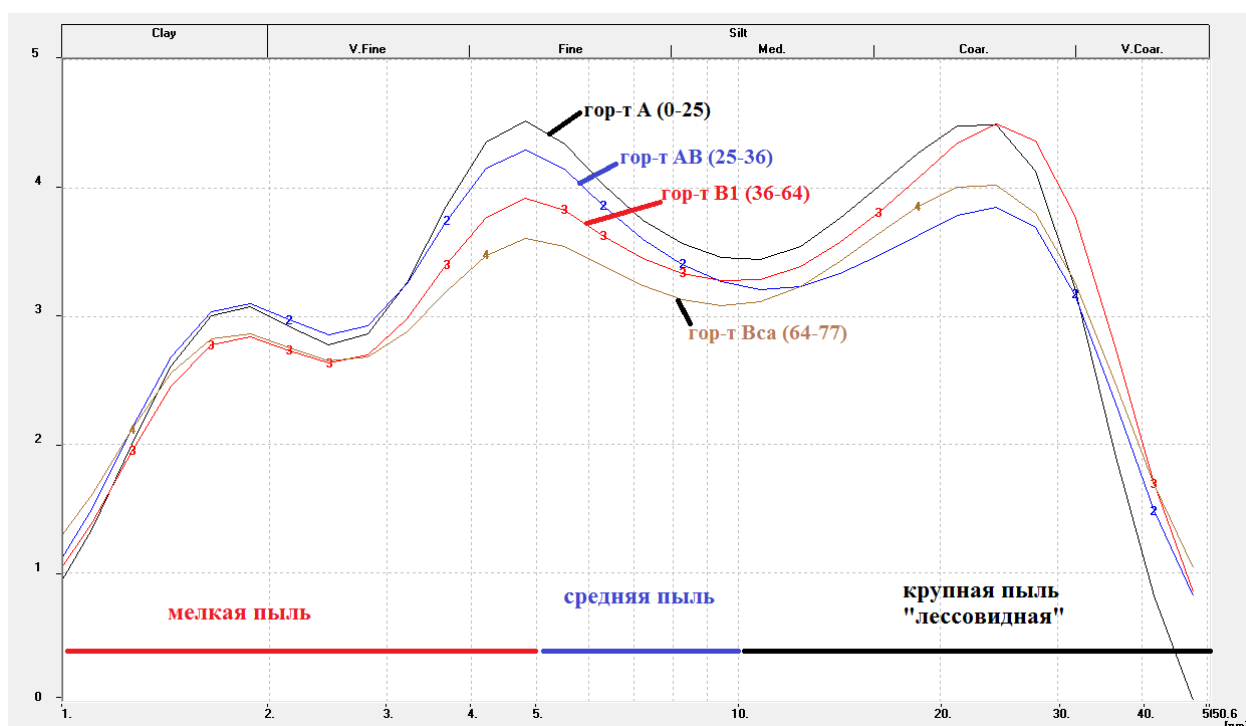


Рис. 24. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам в почве Bul_3.

Из графика видно, что наибольшее содержание мелкой и средней пыли приходится на гумусовый горизонт. При движении вниз по профилю происходит снижение содержания этих илистых частиц, что объясняется снижением содержания гумуса. Этот простой анализ позволяет нам прийти к

выводу, что несмотря на определенные морфологические особенности (редкие ГГК по ГСО в гор-те В1) свидетельствующие о наличии признаков осолонцевания в данной почве, в настоящее время выноса илистых частиц из гумусового горизонта вниз по профилю не происходит. Выявленные морфологические признаки могут быть свидетельством ранее протекавшего процесса осолонцевания.

Теперь рассмотрим распределение частиц по размерам солонцеватой почвы Koch_1 (рис. 25).

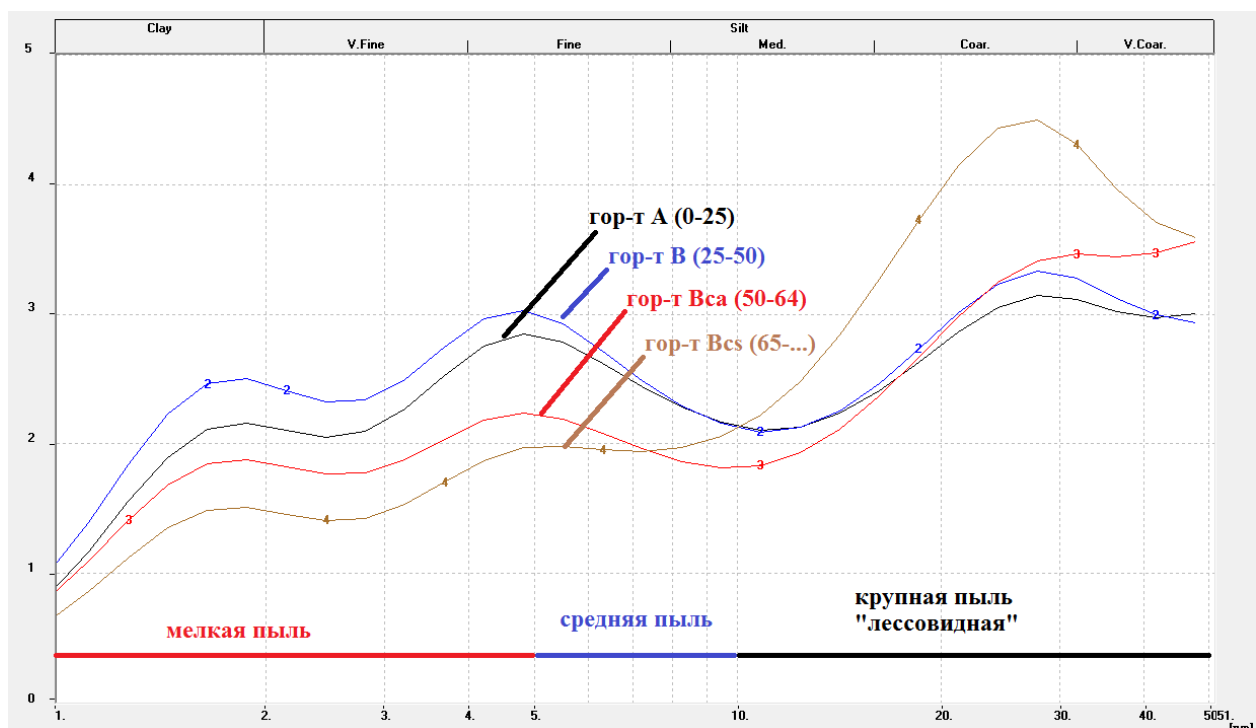


Рис.25. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам в почве Koch_1.

В данном случае (рис. 25) распределение содержания фракций мелкой и средней пыли указывает на процессы выноса илистых частиц почвы Koch_1 из гумусового горизонта в горизонт В, что несомненно является диагностическим признаком относительно современного протекания процесса осолонцевания.

Таким образом, сравнение кривых ОГХ гумусовых горизонтов исследуемых почв интегрально отражает влияние сразу нескольких взаимосвязанных факторов – гранулометрического состава, содержания

органического вещества, структурного состояния, проявляющихся в условиях процесса осолонцевания. Конечно, в дальнейшем потребуются детальное обоснование исходной литологической идентичности сравниваемых объектов и ее изменений именно под воздействием указанного процесса, но уже сейчас в пользу этой гипотезы свидетельствуют близкие свойства горизонтов В, включая гранулометрический состав (табл.10).

3.4. Опесчанивание.

Опесчанивание происходит в результате дефляции почв и заключается в снижении содержания физической глины и ила в верхних гумусовых горизонтах.

Дефляция считается нормальным геологическим процессом в пределах аридной и семиаридной зон, тем не менее, антропогенные причины привели к ее активации даже вне этих зон и не только на почвах легкого состава (Ларионов, 2006).

Вызванное дефляцией опесчанивание сильно проявляется там, где явно выражена деградация почв в результате хозяйственной деятельности человека. Современные сельскохозяйственные машины и многотоннажные автомобили превращают в пыль почвенные агрегаты, ускоряют их податливость эрозии (периферии населенных пунктов, загоны, грунтовые дороги и т.п.). В этих местах активно формируются эоловые формы (Снижение уровня Аральского моря, 1981).

Опесчанивание приводит к ухудшению эдафических условий биотопа, и прежде всего, снижению доступной почвенной влаги, что ведет к ксерофитизации растительности (Куст, 1999).

Почвы тяжелого состава обычно не подвержены дефляции. Однако неупорядоченное развитие транспортных сетей, увеличение поголовья скота и, как следствие, перевыпас приводят к уничтожению растительности, раздроблению структурных агрегатов или поверхностных корок, что обуславливает развитие дефляции даже при слабых ветрах, не только на

песках, но и на почвах суглинистого состава. Существует мнение, что и подвижные пески Прикаспийской низменности имеют древне-антропогенное происхождение и являются результатом массовой миграции кочевников в 13-14 вв., в результате которой разрушился верхний почвенно-растительный слой (Опустынивание засушливых земель, 2009)

Рассмотрим наиболее частые ситуации, при которых происходит опесчанивание почв (на основе данных О.В. Андреевой, 2002).

1) При отгонном животноводстве.

а) Отгонное животноводство → влияние на растительность → снижение проективного покрытия → увеличение прогреваемости → перегрев → иссушение → дефляция → формирование облегченных почв (опесчанивание) и незакрепленных песков.

б) Отгонное животноводство → влияние на почвы → разбивание поверхности → разрушение капилляров → изменение режима испаряемости → иссушение → дефляция → формирование облегченных почв (опесчанивание) и незакрепленных песков.

2) При распашке.

Распашка → уничтожение дернины и естественной растительности → дефляция → формирование облегченных почв (опесчанивание) и незакрепленных песков.

Перечисленные сценарии, осуществляясь по отдельности или в сочетании друг с другом, в конечном счете, приводят к опесчаниванию почв.

3.4.1. Опустынивание почв при опесчанивании.

Результаты исследований Дагестанского научно-исследовательского института сельского хозяйства (1978) показали, что «в процессе выдувания на обрабатываемых светло-каштановых легкосуглинистых почвах с возрастанием степени эродированности (слабая, средняя, сильная) уменьшается содержание фракции пыли и ила в слое 0-10 см соответственно

на 10; 35; 90%...». За 10-12 лет с момента освоения целинных участков, пахотный горизонт, вовлеченный в обработку, сильно опесчанился по сравнению с эталоном. Опесчанивание влечет за собой снижение емкости поглощения на эродированных почвах до 12-5 мг-экв на 100 г почвы против 15 мг-экв на незэродированных и отрицательно отражается на их плодородии.

Систематическое выдувание почвы, снижающее плодородие, резко отражается на урожайности сельскохозяйственных культур, которая находится в тесной зависимости от степени эродированности, понижаясь с её нарастанием (Белолипский, 1978).

Проявление эоловых процессов как фактора опустынивания отчетливо выделяется с помощью данных дистанционного зондирования. Ветер разрушает горные породы, развеивает песчаные толщи, лишенные растительного покрова. Рыхлый материал переносится и отлагается на огромных пространствах. Эоловый перенос, поднимая с поверхности почвы мелкозем и кристаллики соли, способствует засолению почв далеко расположенных гумидных ландшафтов, расширяя тем самым ареал опустошенных земель (Петров, 1996).

Одним из наиболее серьёзных отрицательных последствий ветровой эрозии является постоянная потеря гумусовых запасов в верхнем горизонте почвы. Из-за этого содержание азота, фосфора, калия, редких элементов, активных микроорганизмов в оставшейся эродированной части почвы уменьшается во много раз. Структура и агрофизические свойства выдутой почвы очень бедны (Ковда, 1977).

В почвах легкого механического состава (крупнозернистые пески, гумусированные пески и др.) недостаточность водоаккумуляции обусловлена слабой водоудерживающей способностью, слишком высокой скоростью инфильтрации и высокой гидравлической проводимостью. В этом главная причина низкого плодородия таких почв, их исключительной чувствительности к засухам (Ковда, 1980).

Выше мы рассмотрели основные направления деградации почв под воздействием опесчанивания. Для наглядности изложенная информация представлена в виде схемы проявлений опустынивания при опесчанивании (рис. 26).

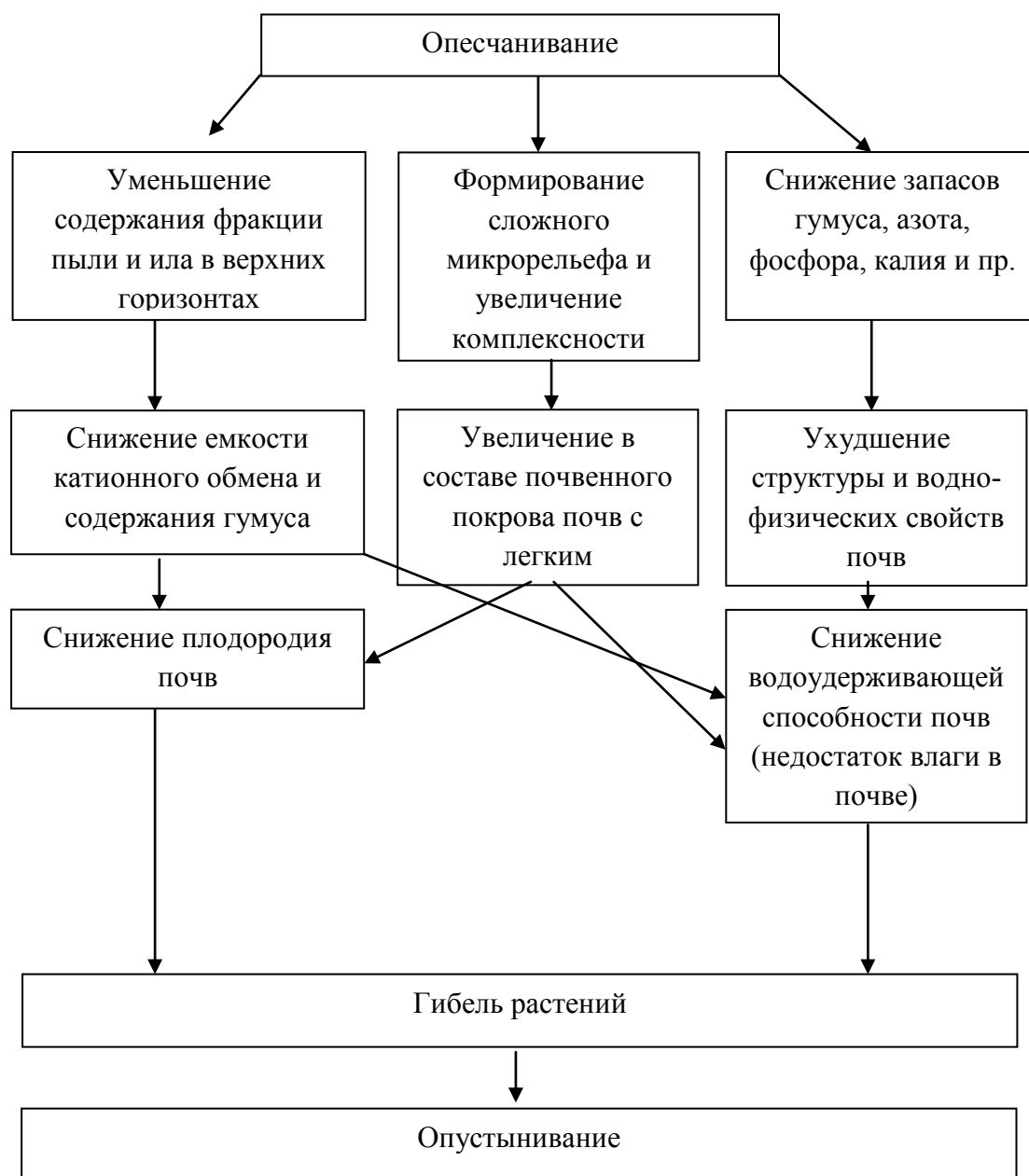


Рис. 26. Схема проявлений опустынивания при опесчанивании.

Стоит отметить, что данная схема приводит основные сценарии, по которым опесчанивание может приводить к опустыниванию.

Помимо общих наиболее частых сценариев существуют и частные примеры. Так, Г.С. Куст (1999) описывает один из таких примеров, в котором интенсивность дефляции тесно связана с развитием процессов коркообразования, дегумификации и рассоления. По мере усиления преобладания процессов рассоления над засолением снижается цементирующая роль легко растворимых солей в образовании поверхностной корочки, препятствующей развитию дефляции. Одновременно, по мере снижения запасов гумуса в почвах, снижается прочность почвенной структуры, что также способствует дефляции, получающей максимальное развитие в песчаных пустынных слабо развитых почвах. По мере закрепления песков пустынной растительностью интенсивность дефляции снижается.

3.4.2. Подходы к оценке опустынивания почв при опесчанивании.

Подход на основе изменений в содержании илистых и песчаных фракций.

Диагностика опесчанивания почв сводится в целом к анализу дифференцированности почвенного профиля по содержанию илистых и песчаных фракций.

Интересный полевой опыт с целью оценки деградации физических и химических свойств почв под воздействием выпаса скота был проведен в Северном Китае с 1986 по 2003 годы (Huanga et al., 2007). Группой ученых исследовалось, в том числе, изменение распределения почвенных частиц по размерам в зависимости от продолжительности выпаса скота на данной территории (рис. 27). Из данных графиков отчетливо прослеживается тенденция увеличения содержания песчаных фракций и снижения илистых фракций при большей продолжительности выпаса скота.

Динамика распределения частиц по размерам показала, что воздействие опустынивания способствует удалению частиц ила, что приводит к ухудшению структуры почвы (Huanga et al., 2007).

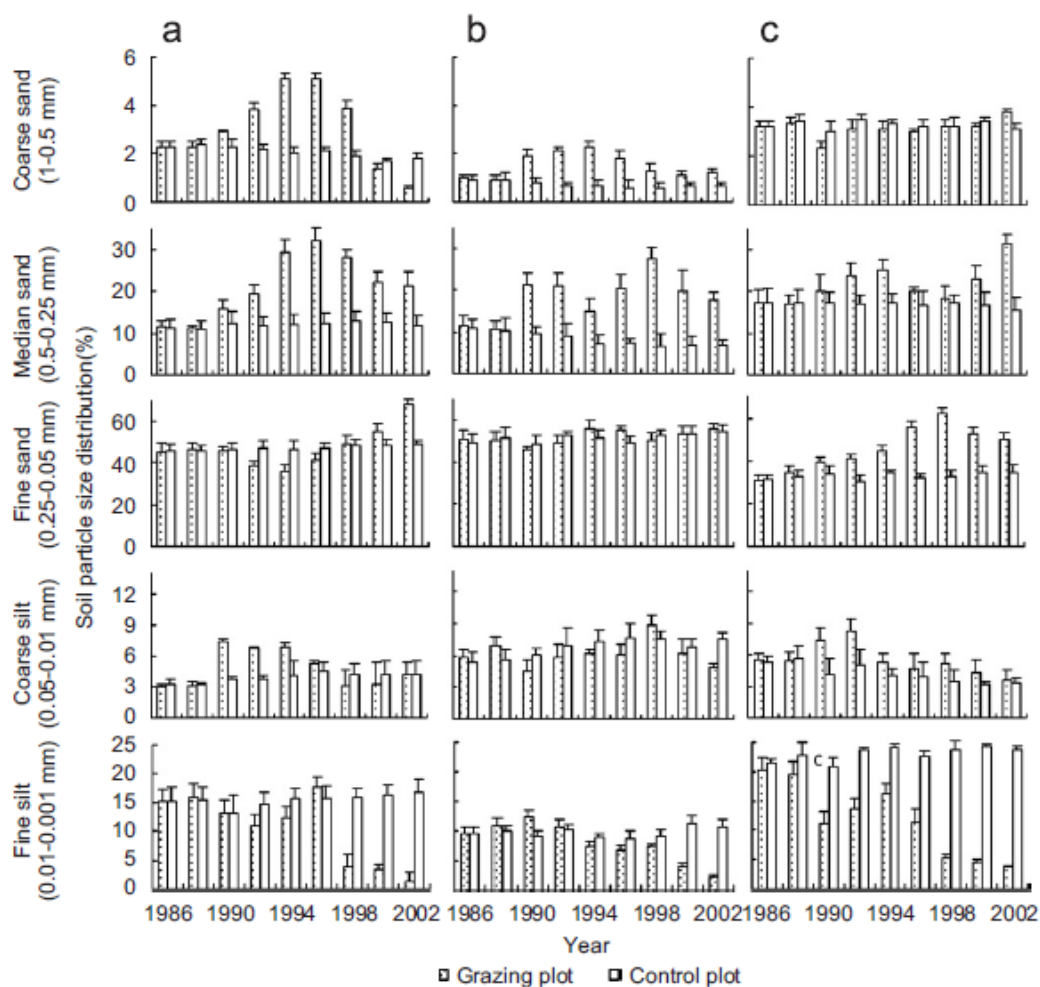


Рис. 27. Динамика распределения частиц по размерам в почве (%) в 0-5 (а), 5-10 (б) и 10-30 см (с) слоев почвы в течение процесса опустынивания пастбищ с 1986 по 2002 годы.

В работе М.Е. Бельгибаева (2002) соотношения между фракциями почв также используются в качестве диагностического показателя опустынивания почв при опесчанивании.

Степень опесчанивания определяется по данным механического (гранулометрического) анализа почв путем сравнения с эталоном (аналогичной целинной почвой). Выражается в процентах потери содержания физической глины при сравнении с эталоном.

Таким образом, при оценке степени опустынивания почв при опесчанивании необходимо учитывать, прежде всего, изменение в содержании илистых частиц по сравнению с эталонными почвами.

3.4.3. Оценка опустынивания почв при опесчанивании (на локальных примерах).

Ключевой участок PRI.

Данный ключевой участок представляет собой трансекту протяженностью 6 км. 4 разреза заложены в разной удаленности от загона для скота (кошары). Цель данного ключевого участка – диагностика опустынивания почв при опесчанивании под воздействием пастбищной дигрессии (рис. 28).

Трансекта, заложенная на ключевом участке PRI, описывает деградированные в результате перевыпаса скота, весьма характерные для сухостепного Заволжья участки, хорошо диагностируемые с помощью космических снимков. Описания различий почв участков, подверженных пастбищной дигрессии, особенно в связи с удаленностью от мест водопоя или загонов, хорошо представлены в научной литературе (Добровольский и др., 1991; Можарова, Федоров Н.В., 1990).



Рис. 28. Ключевой участок PRI на космических снимках Landsat-8 (дата съемки 10.04.2013 (слева)) и Spot (дата съемки 01.10.2012 (справа)).

Проведем сравнительный анализ почв, составляющих трансекту на ключевом участке PRI, по ряду диагностических признаков (табл. 11).

Таблица 11. Диагностические показатели почв ключевого участка PRI.

Диагностические показатели	Pri 1_1	Pri 1_2	Pri 1_3	Pri 1_4
Название почвы	Светло-каштановая солонцеватая среднесуглинистая старопахотная	Светло-каштановая солонцеватая среднесуглинистая старопахотная	Светло-каштановая солонцеватая маломощная среднесуглинистая старопахотная	Светло-каштановая солончаковатая солонцеватая маломощная тяжелосуглинистая старопахотная
Сельскохозяйственное назначение	Старопахотное поле. Пастбище.	Старопахотное поле. Пастбище.	Старопахотное поле. Пастбище.	Старопахотное поле. Пастбище.
<i>Показатели биопродуктивности</i>				
NDVI	0,15	0,13	0,03	0,01
Проективное покрытие, %	60	60	20	5
<i>Морфологические показатели</i>				
Гранулометрический состав А гор-та	Суглинок тяжелый	Суглинок тяжелый	Суглинок средний	Суглинок тяжелый
Гранулометрический состав В гор-та	Суглинок тяжелый	Суглинок тяжелый	Суглинок средний	Суглинок тяжелый
Структура горизонта А	Зернисто-порошистая	Глыбисто-комковато-порошистая	Комковато-порошистая	Глыбисто-комковато-порошистая
Сложение, горизонт А	Уплотненное	Уплотненное	Рыхлое	Плотное
<i>Физико-химические показатели</i>				
Водопрочность агрегатов по Андрианову (гор-т А)	76,75	59,75	12,25	28
Содержание углерода, %	0,94	0,69	0,30	1,85

Анализ данных таблицы 11 показывает, что по мере приближения к загону для скота (кошаре) снижается проективное покрытие (в 12 раз), а также уменьшаются показания вегетационного индекса (в 15 раз). Подобная динамика, за исключением точки Pri 1_4, наблюдается и в содержании углерода в гумусовом горизонте исследуемых почв. В ряду почв Pri 1_1 – Pri 1_2 – Pri 1_3 значительно снижается содержание углерода в гумусовом горизонте. При этом в точке Pri1_4, т.е. в непосредственной близости от кошары, значение содержания углерода в два раза выше, чем в почве Pri1_1 наиболее отдаленной от коша, очевидно, в связи с большим количеством экскрементов животных.

На основе морфологических признаков можно установить, что в ряду почв Pri 1_1 – Pri 1_2 – Pri 1_3, при движении к загону для скота:

- 1) гранулометрический состав гумусового горизонта исследуемых почв облегчается на одну градацию (глина легкая – суглинок тяжелый – суглинок средний);
- 2) сложение гумусового горизонта меняется с уплотненного на рыхлое;
- 3) водопрочность агрегатов по Андрианову (гумусовый горизонт) снижается в 6 раз;

Интересные результаты дает также анализ дифференциальных кривых гранулометрического состава (рис. 29). Очевидно, что при движении к кошаре в гумусовых горизонтах исследуемых почв резко снижается содержание пылеватых частиц и возрастает содержание песчаных.

Все эти факты в совокупности указывают на снижение содержания пылеватой фракций (содержащей большое количество гумусовых веществ) в почвах по мере приближения к кошу, прежде всего, за счет ветровой эрозии на «выеденных» участках, а также деградации почвенной структуры в результате «вытаптывания». Таким образом, реализуется принцип, чем интенсивней выпас скота, тем выше степень опесчанивания.

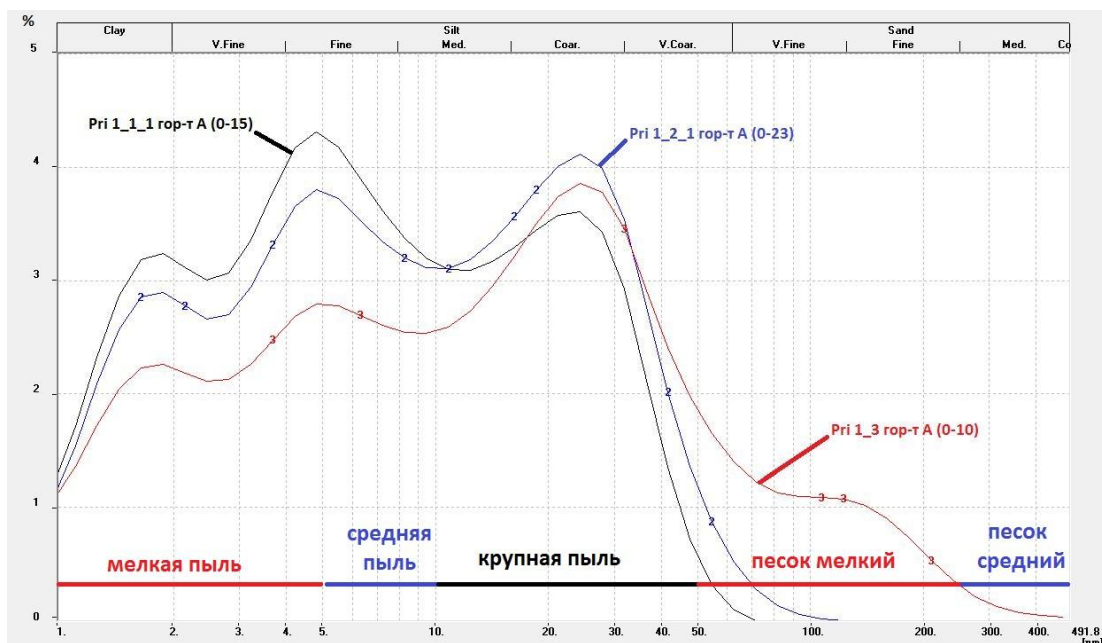


Рис. 29. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам почв Pri 1_1 – Pri 1_2 – Pri 1_3.

Облегчение гранулометрического состава, снижение содержания углерода, потеря агрономически ценной и водопрочной структуры гумусового горизонта исследуемых почв, подверженных опесчаниванию отражаются и на снижении их водоудерживающей способности (рис. 30).

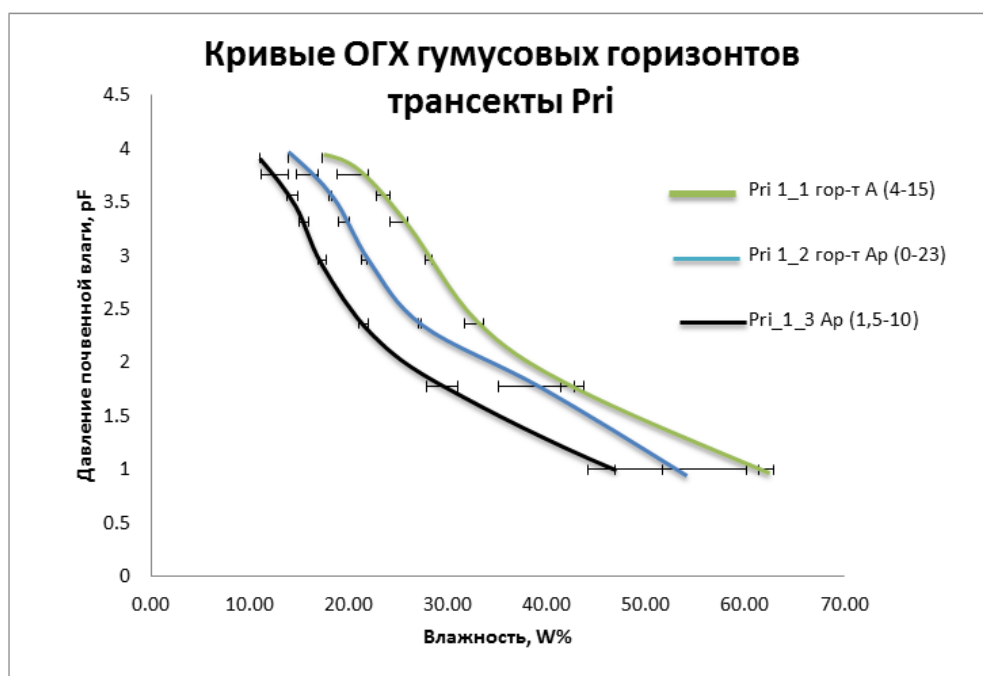


Рис. 30. Кривые ОГХ гумусовых горизонтов ряда почв Pri 1_1 – Pri 1_2 – Pri 1_3.

3.5. Водная эрозия.

Одним из самых масштабных процессов опустынивания является водная эрозия. Ее опасность тесно связана с крутизной склонов, структурой почв и степенью проективного покрытия растительностью. На пологих ($0-5^0$) задернованных склонах опасность водной эрозии наименьшая, на крутых ($15-30^0$), лишенных растительности – наибольшая (Петров, 1996).

На территории Российской Федерации 0,57 млн. км² земель (46,1 % от опустыненных земель) подвержены водной эрозии (Куст, 1999).

По характеру своей деятельности водная эрозия может иметь площадное и очаговое проявление. В обоих случаях ее результатом являются разнообразные формы аккумулятивного рельефа.

Рассмотрим наиболее частые ситуации, при которых происходит водная эрозия почв (на основе данных О.В. Андреевой, 2002).

1) При отгонном животноводстве.

а) Отгонное животноводство → влияние на растительность → снижение проективного покрытия → активизация водной эрозии.

б) Отгонное животноводство → влияние на рельеф → формирование скотобоин и пр. → активизация водной эрозии.

2) При распашке.

а) Распашка → уничтожение дернины и естественной растительности → активация водной эрозии.

3) При орошении.

Орошение → влияние на почвы и рельеф (плоскостная эрозия).

3.5.1. Опустынивание почв при водной эрозии.

Наиболее подверженными водной эрозии являются верхние гумусовые горизонты почв. Почвенный гумус – наиболее динамичная часть почвы, чрезвычайно чувствителен к изменению экологической обстановки, в которой идет его формирование.

В.А. Ковда (1977) оценивает роль гумусового горизонта почв: «...гумусовый горизонт выполняет роль важного источника энергии, питающего нормальный цикл биологических и биохимических почвенных процессов. Будучи факторами оструктурирования корня, гумус, фауна создают благоприятные физические свойства почв (проницаемость, влагоемкость, уменьшение испарения и т.д.)».

В.А. Ковда (1977) считает, что «в системе мер по борьбе за влагу в сухом земледелии весьма важное место должны занять все приемы улучшения гумусного и структурного состояния почв, улучшения их водно-физических свойств. Говоря в общем виде, необходимо обеспечить создание оструктуренного водопроницаемого, обогащенного гумусом, достаточно глубокого (40-60 см) культурного горизонта почв».

Таким образом, потеря почвенного гумуса в результате водной эрозии почв является лимитирующим фактором, определяющим почвенное плодородие.

Наряду с потерей почвенного гумуса под воздействием водной эрозии ухудшаются и водно-физические свойства верхних горизонтов эродированных почв.

В совокупности эти негативные процессы приводят к снижению доступности почвенной влаги для растений, прежде всего в результате уменьшения водоудерживающей способности таких почв.

3.5.2. Оценка опустынивания почв при водной эрозии (на локальных примерах).

Ключевой участок ВУК.

Для диагностики опустынивания почв при водной эрозии использованы почвы ключевых участков Вук (расположен в 7 километрах на восток от п. Быково Волгоградской области) и Vul (расположен в 20 км на северо-восток от озера Булухта) (рис. 31).



Рис. 31. Ключевые участки Вуки Вулна космическом снимке Landsat-8. Дата съемки 10.04.2013. Источник GoogleEarth.

Ключевой участок Вук представлен землями сельскохозяйственного назначения, используемыми как в орошаемом, так и в богарном земледелии. Как и значительная часть Прикаспийской низменности, данная территория характеризуется локальными замкнутыми и полузамкнутыми понижениями в сочетании с пологими слабоволнистыми равнинами. Преимущественно пологие элементы участка представлены темно-каштановыми мощными почвами, тогда как полузамкнутые и замкнутые заняты луговато-каштановыми и темно-каштановыми среднemosными почвами.



Рис. 32. Ключевой участок Вук на космическом снимке Spot. Источник GoogleEarth.

При этом, в юго-западной части ключевого участка Вук, в почвах описанных разрезом Вук_3 развиваются сильноэродированные участки в недавнем времени (5-6 лет назад) орошаемые дождевальными машинами типа «Фрегат» (рис. 32).

В качестве эталонных (неэродированных) почв в данном исследовании использованы староорошаемые (в настоящее время используются в богарном земледелии) почвы, описанные разрезом Вук_1 и целинные почвы разреза Вул_3. Почвы в данных разрезах развиваются в схожих почвенно-экологических условиях, что и эродируемая почва при этом они не подвержены другим процессам опустынивания.

Разрез Вул_3 расположен на пологом равнинном непахотном участке, используемым в настоящее время под сенокос.

Таблица 12. Диагностические показатели почв Вук_3, Вук_1 и Вул_3.

Диагностические показатели	Вук_3	Вук_1	Вул_3
Название почвы	каштановая маломощная среднесуглинистая	темно-каштановая мощная среднесуглинистая	темно-каштановая слабосолонцеватая мощная среднесуглинистая
<i>Показатели биопродуктивности</i>			
NDVI	0,37	0,38	0,307

Диагностические показатели	Вук_3	Вук_1	Вул_3
Проективное покрытие, %	80	80	80
<i>Морфологические показатели</i>			
Признаки засоления и глубина появления новообразований	Нет	Нет	Нет
Признаки осолонцевания	Нет	Нет	Редкие ГГК по ГСО в горизонте В1
Структура гумусового горизонта	Комковато-порошистый	Глыбисто-ореховато-порошистая	Зернисто-комковатая (бусы по корням)
Мощность гумусовых горизонтов А+АВ, см	30	52	64
Граница вскипания от 10% HCL	35 см	68 см	65 см
<i>Физико-химические показатели</i>			
ЕС (гор-т А), $\mu\text{Sm}/\text{sm}$	92	111	193
pH (гор-т А)	8,05	8,21	7,61
pNa	3,30	3,46	3,75
Содержание углерода в гумусовом горизонте А, %	0,59	2,93	3,80
Водопрочность агрегатов по Андрианову (гор-т А)	8,50	72,25	99,75

Как следует из представленной выше таблицы 12 сравниваемые почвы являются незасоленными, не имеют признаков актуального осолонцевания, имеют сравнительно схожие показатели NDVI и проективного покрытия.

При этом почвы описанные разрезом Вук_3 являются слабосмытыми, что отражается в ряде диагностических показателей:

- почвы, описанные разрезом Вук_3 имеют меньшую мощность гумусовых горизонтов (на 20 – 30 см меньше, чем у «эталонных» почв);

- почвы, описанные разрезом Вук_3 имеют более высокую границу вскипания (на 30 см выше, чем в «эталонных» почвах).

Таким образом, в результате водной эрозии почвы, описанные разрезом Вук_3 были лишены верхних 20 – 30 сантиметров гумусовых горизонтов, что привело к следующим последствиям:

- структура гумусового горизонта эродированной почвы имеет меньшую агрономическую ценность, чем у «эталонных» почв;

- содержание углерода в гумусовом горизонте эродированной почвы в 5-6 раз меньше, чем в «эталонных» почвах;

- водопрочность агрегатов гумусового горизонта эродированной почвы в 8-11 раз меньше, чем в «эталонных» почвах.

- содержание илистой фракции в гумусовом горизонте эродированной почвы Вук_3 в 1,5 – 2 раза меньше, чем у «эталонных» почв (рис. 33).

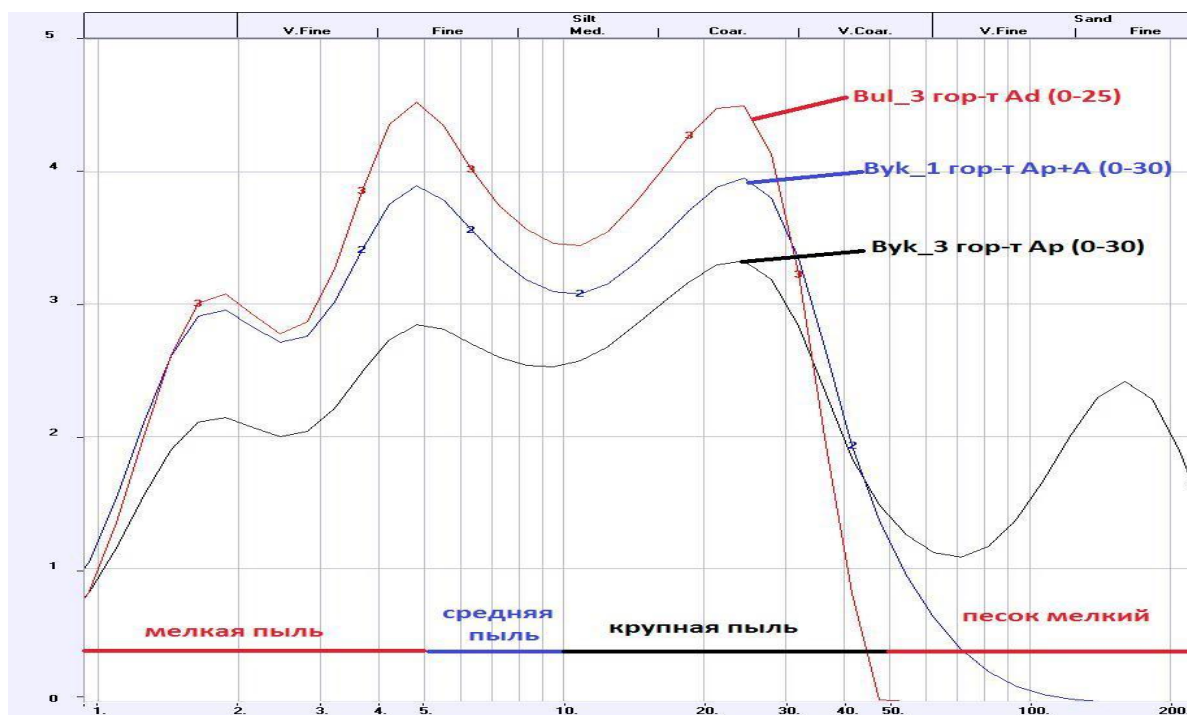


Рис. 33. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам почв Вук_3, Вук_1 и Вул_3.

Рассмотрим, как деградация физических свойств почв Вук_3 отражается на водоудерживающей способностью гумусового

горизонта сравниваемых почв. Для этого сравним кривые ОГХ гумусовых горизонтов исследуемых почв (рис. 34).

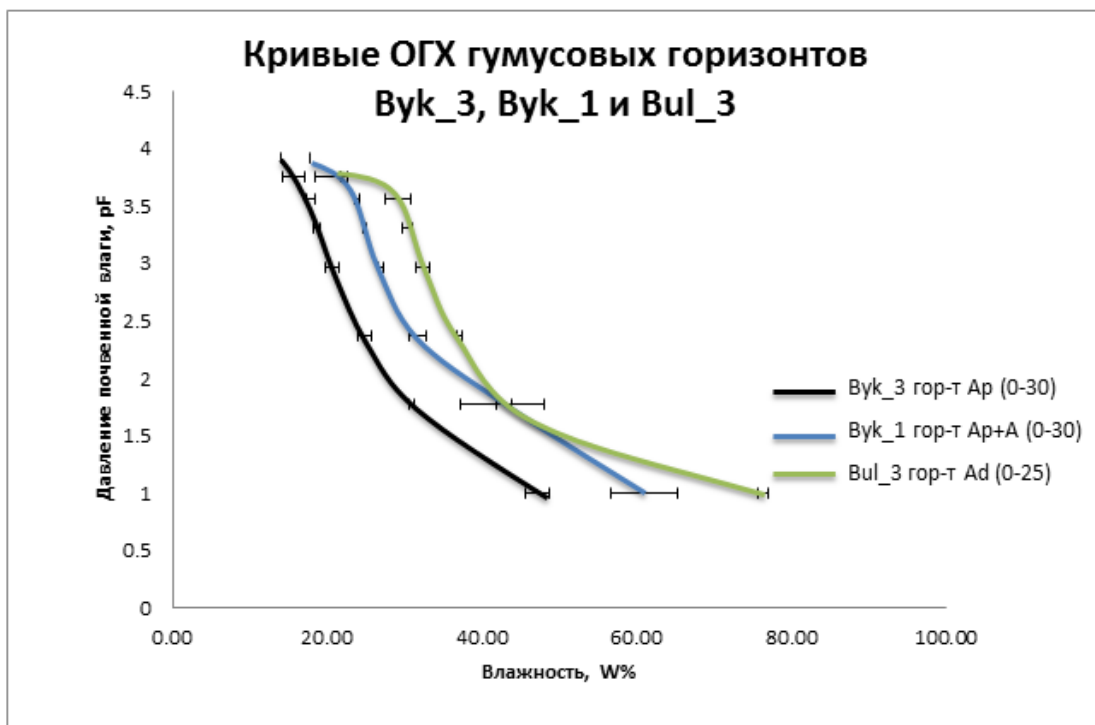


Рис. 34. Кривые ОГХ гумусовых горизонтов почв Вук_3, Вук_1 и Бул_3.

Таким образом, наименьшей водоудерживающей способностью среди сравниваемых почв обладает гумусовый горизонт эродированных почв Вук_3 (рис. 34). Это обусловлено меньшим содержанием илистой фракции, низким содержанием гумуса, плохой структурой и низкой водопрочностью агрегатов гумусового горизонта почв разреза Вук_3.

Староорошаемые почвы Вук_1 обладают несколько меньшей водоудерживающей способностью, чем почвы Бул_3. Это связано с сельскохозяйственным использованием этих почв, которое негативно отражается на содержании гумуса и ухудшении структуры гумусового горизонта почв Вук_1.

При этом в почвах Вук_1 отсутствуют актуальные процессы опустынивания, но стоит отметить, что риск опустынивания в результате обесструктурирования в данных почвах присутствует.

Гумусовый горизонт эродированных почв Вук_3 характеризуется наименьшей водоудерживающей способностью среди ряда сравниваемых почв. Все эти факторы создают условия, которые приводят к снижению водоудерживающей способности данного горизонта и как следствие к снижению доступности почвенной влаги для растений.

Рассмотренный выше пример подтверждает ограниченность использования показателей биопродуктивности в качестве индикатора опустынивания. Равные величины проективного покрытия (80%) и NDVI (около 3,5), отсутствие признаков засоления и осолонцевания, «мощный» гумусовый горизонт (более 30 см) могут дать ошибочное представление об отсутствии признаков или рисков опустынивания. Тогда как заметное падение водоудерживающей способности почв при различных процессах опустынивания, отражает реальную способность почв по обеспечению растений влагой.

3.6. Теоретические аспекты изучения опустынивания почв при уплотнении и коркообразовании.

Опустынивание почв при уплотнении.

Уплотнение- это деградационные процессы, происходящие в почвах, которые нередко взаимосвязаны и часто вызваны чрезмерным антропогенным воздействием.

Рассмотрим наиболее частые ситуации, при которых происходит уплотнение почв (на основе данных О.В. Андреевой, 2002).

1) При отгонном животноводстве.

а) Отгонное животноводство → влияние на растительность → снижение продуктивности → снижение запасов гумуса и питательных элементов → обесструктурирование → уплотнение.

б) Отгонное животноводство → переуплотнение почв .

2) При распашке.

- а) Распашка → воздействие тяжелой техники →
переуплотнение.
- б) Распашка → уничтожение дернины и естественной
растительности → обесструктурирование → уплотнение.
- 3) При орошении → ухудшение структуры гумусовых горизонтов
переуплотнение.
- 4) При осолонцевании → ухудшение структуры и
дегумификация → переуплотнение.

В.А. Ковда (1977) указывает на то, что при обработке почв обесструктурирование приводит к потере активного гумуса, а его содержание снижается в несколько раз. Сильно снижается агрегированность почв и особенно велики потери водоустойчивых микроагрегатов.

По данным С.А. Николаева и др. (1999) уплотнение черноземов – это наиболее широко распространённое явление при орошении. Исходно зернистая или мелкокомковатая водопрочная структура черноземов после начала орошения очень быстро разрушается, особенно в пахотном горизонте. Почвы становятся глыбистыми, в них появляется слитость, склонность к образованию поверхностной корки после полива или дождей. Отмечается формирование качественно новой структуры с низкой внутриагрегативной порозностью, что вызывает уменьшение порового пространства. Сокращается содержание агрегатных и межагрегатных пор инфильтрации и аэрации. Подобные изменения структурного состояния почв отражаются на их водоудерживающей способности, которая снижается. Происходит это в основном за счет подвижной легкодоступной для растений влаги. Результатом данных изменений является ухудшение водного и воздушного режимов. Высшим выражением обесструктурирования и уплотнения почв является их техногенная слитизация, в корне меняющая экологию черноземов, обуславливающая их деградацию.

В связи с тем, что вода является основным средством, транспортирующим разнообразные вещества в почве, знание путей её передвижения необходимо для изучения генезиса и функционирования почв как элемента геосистем, а также геосистемы в целом (Затанацкий и др., 2007).

По сведениям И.В. Ковды (2009) развитие слитогенеза может приводить к формированию микрорельефа и последующей комплексности почвенного покрова. К этому склонны слитые черноземы и лугово-слитые почвы Заволжья, Среднего Поволжья, долины Нижнего Дона, Волго-Ахтубы и др.

Орошение в течение нескольких лет приводит к уплотнению в верхнем метровом слое почвы, а также снижению пористости. При этом скорость инфильтрации воды в почву уменьшается в 1,5-2 раза. Слитизация почв, широко распространенная в Предкавказье и в степной части Западной Сибири, относится к малоизученным (в плане генезиса) негативным процессам, которые часто сопровождают распашку и орошение черноземов. Сходное по результатам уплотнение почв при применении тяжелой сельскохозяйственной техники представляет пример техногенного опустынивания (Ковда, 1980).

Д.И. Щеглов (1999) также отмечает, что «изменение плотности почв влечет за собой ухудшение целого ряда физических и водно-физических свойств пахотных черноземов ... существенно снижается общая пористость, полная влагоемкость, водопроницаемость, уменьшается диапазон продуктивной влаги и, соответственно, возрастает процент влаги не доступной для растений.

Очень низкая скорость инфильтрации при формировании уплотненного горизонта в почвах (рис. 35) приводит к ненасыщенности, затрудняет аэрацию (снижает доступность питательных веществ для растений, служит

причиной развития анаэробных биологических процессов, неблагоприятных восстановительных условий и т. п.)(Ковда, 1980).

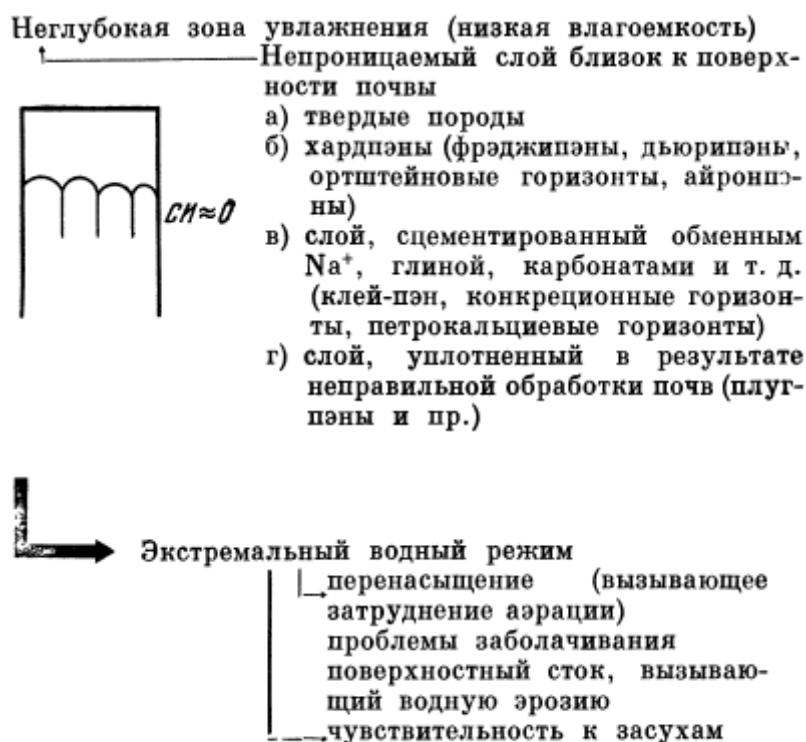


Рис.35. Почвы с низкой скоростью инфильтрации в результате внутрипочвенного переуплотнения.

Выше мы рассмотрели, как под воздействием уплотнения может происходить опустынивание почв. Для наглядности изложенной информации мы составили схему проявлений опустынивания по типу обесструктурирования и уплотнения (рис. 36).

Хорошим примером, характеризующим опустынивание почв при уплотнении, является исследование Г.С. Куста, С.Ю. Розова и Н.Д. Кутузовой (2010), которое описывает негативное влияние переуплотненного (подпахотного) горизонта на вегетационные показатели сои.

Полученные данные показывают, что иссушение корнеобитаемого слоя может происходить не только на повышенных элементах рельефа, но и в понижениях с мощным плотным подпахотным горизонтом, который в данных условиях выступает в роли «обратного клапана» или «экрана»,

препятствующего капиллярному поднятию влаги из глубоких горизонтов почв в корнеобитаемый слой



Рис. 36. Схема проявлений опустынивания приобесструктуривании и уплотнении.

В результате потери влаги в жаркий период с испарением и транспирацией из почвенного горизонта, расположенного над плотным водонепроницаемым горизонтом, не компенсируются капиллярным и диффузионным переносом влаги из горизонтов под ним (эффект «сковородки»). Такой эффект, как правило, наблюдается только в дренируемых локальных понижениях, приуроченных к верхним участкам природных балочных понижений, или к дренируемым «ступенькам» пологих склонов.

Таким образом, переуплотненный водонепроницаемый горизонт создает препятствия для свободного перемещения почвенной влаги по

профилю, что в свою очередь приводит к созданию в верхней корнеобитаемой части гумусового горизонта дефицита почвенной влаги.

Опустынивание почв при коркообразовании.

Одно из первых определений почвенной корке дано в дореволюционной русской энциклопедии, выпущенной акционерным издательским обществом «ФА Брокгауз—ИА Ефрон» (1890 – 1907): «Почвенная корка — образуется на плотных глинистых почвах, когда от сильных дождей избыточно содержащиеся в них иловатые части закупоривают более крупные поры, отчего эти почвы «заплывают» и на поверхности их появляется корка, затрудняющая доступ воздуха и тем вредно влияющая на рост растений». (Ф.А. Брокгаус, 2013).

Другое определение дано Б.Г. Розановым (1975): «Корковая поверхность (поверхностная корка) — ровная микротрещиноватая поверхность пахотных обесструктуренных почв, формирующаяся у пахотных почв в результате разрушения зернистой или комковатой поверхности при низкой культуре земледелия; особенно сильно коркообразование проявляется в поверхностно солонцеватых или солончаковатых почвах, орошаемых почвах, причем тем сильнее, чем более глинистая почва».

Подобные поверхностные корки характерны для серо-бурых, песчаных пустынных и такыровидных автоморфных почв, т.е. для почв распространенных в пустынях и полупустынях.

Почвенная корка встречается на поверхности пахотных участков в различных почвенных зонах. Она особенно широко распространена в районах орошаемого земледелия на почвах, обладающих недостаточно прочной структурой, в зоне каштановых, бурых и сероземных почв (Почвенная корка..., 1955).

Поверхностные корки аридных почв часто опесчанены за счет приноса песка с окружающих развеваемых территорий и выноса мелкозема с поверхности.

Образование поверхностной корки в аридных почвах объясняется слабым развитием корневой массы в поверхностном горизонте, высокой карбонатностью почв, контрастностью сезонного гидротермического режима. Когда после промачивания почвенная масса быстро прогревается и подсыхает, происходит бурное осаждение карбонатов кальция с выделением CO_2 , связанного в бикарбонатах почвенного раствора. Образуется многочисленные поры, карбонаты цементируют почвенную массу и придают прочность стенкам пор (Ковда и др., 1974).

Таким образом, стоит выделить основные типы поверхностных корок:

Структурные:

Корки, образованные за счет цементации глинистых и коллоидных частиц тяжелосуглинистых почв (на орошаемых полях, после сильных дождей и т.п.);

Солевые:

- 1) Солевые корки (прежде всего за счет накопления натриевых солей);
- 2) Карбонатные корки (на высококарбонатных почвах).
- 3) Гипсовые корки.

Корка на поверхности (сцементированная натриевыми солями, гипсом, CaCO_3 и т. д. или уплотненная неправильной обработкой почвы) или плотный приповерхностный слой (различные хардпэны, горизонты, сцементированные и уплотненные вследствие аккумуляции неорганических коллоидов, глины, обменного Na^+ и пр.) не только препятствуют проникновению корней, но также ограничивают инфильтрацию воды в почву и создают экстремальный водный режим. (Ковда, 1980). (рис. 37).

Почвы глинистых и лессовых равнин покрыты почти сплошной коркой, которая плохо впитывает влагу и быстро испаряет её. Поэтому в почвах глинистых и лессовых равнин велики непродуктивные потери влаги на

поверхностный сток и испарение, меньше влаги расходуется на транспирацию (Ковда, 1977).

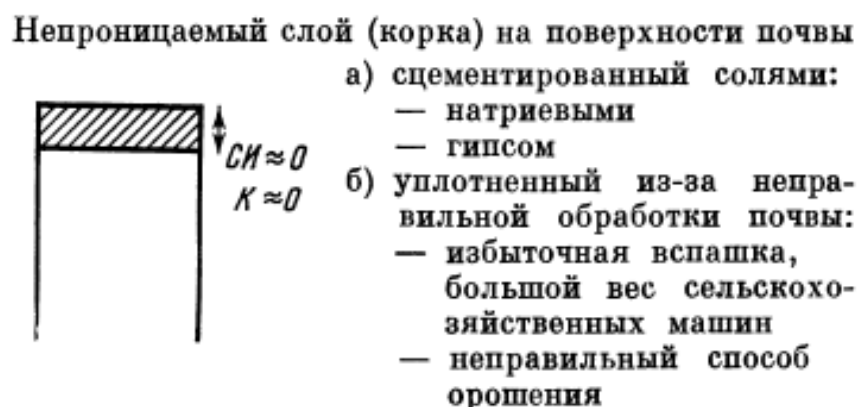


Рис. 37. Непроницаемый слой (корка) на поверхности почвы.

Выше нами рассмотрено, как под воздействием коркообразования может происходить опустынивание почв. Для наглядности изложенной информации мы составили схему проявлений опустынивания по типу коркообразования (рис. 38).



Рис. 38. Схема проявлений опустынивания при коркообразовании.

Подходы к оценке опустынивания почв при коркообразовании.

М.Е. Бельгибаев, в работе «Диагностические показатели аридизации и опустынивания почв степной зоны Казахстана» (2002) оценивает процесс коркообразования, способствующий аридизации и опустыниванию в следующих показателях: наличие корки на поверхности и её толщина (измеряется в мм).

Ввиду того, что корки на поверхности почвенного покрова появляются преимущественно в результате разного рода деградационных процессов (засоление, переуплотнение и др.), то их роль при опустынивании почв несколько опосредована. При этом сам по себе процесс коркообразования (как один из процессов опустынивания), как правило, дополняет те или иные процессы опустынивания.

О влиянии процесса коркообразования на опустынивание почв, стоит говорить в том случае, если эти корки приводят к ухудшению инфильтрации с поверхности почв, а, следовательно, создают условия недостатка влаги в почвах доступной для растений.

В ходе полевых исследований нами были обнаружены лишь фрагментарные, не более 3 мм толщиной корки. Установлено, что такие корки не создают значительных препятствий для движения влаги с поверхности вниз по профилю, таким образом, не приводят к снижению доступности почвенной влаги для растений.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

По результатам исследования различных подходов к пониманию термина «опустынивание почв», найдена взаимосвязь между понятиями «аридизация суши», «почвенная засуха», «сельскохозяйственная засуха» по отношению к явлению опустынивания. Единство этих понятий заключается в том, что они применяются при описании проявлений опустынивания приводящих к снижению доступности влаги для растений.

Так, говоря об «аридизации суши», В.А. Ковда (1977) понимает увеличение засушливости обширных территорий, которая, в свою очередь, приводит к деградационным процессам в почве. Более локально используется термин «почвенная засуха». Чаще всего под «почвенной засухой» понимают **недостаток доступной для растений влаги в почвах, вызванный в результате: наступления почвенной засушливости следующей за атмосферной засухой; ухудшения условий перемещения влаги в почвах и т.п., который приводит к увяданию растений и снижению урожаев.**

В свою очередь понятие «опустынивание почв» определено нами как комплексное явление антропогенной и природно-антропогенной дегградации почв, характеризующееся ростом дефицита доступной для растений почвенной влаги.

Анализ литературных данных, а также исследования, проведенные в рамках данной работы, позволяют сделать вывод о том, что опустынивание почв происходит, прежде всего, в результате недостатка влаги доступной для растений в вегетационный период, что вызвано ухудшением водно-физических свойств почв под воздействием причин опустынивания.

К основным процессам опустынивания почв, приводящим к недостатку влаги в почвах, по результатам данного исследования отнесены такие деградационные процессы как засоление, осолонцевание, опесчанивание, водная эрозия, уплотнение и коркообразование.

Проявления опустынивания в почвах рассмотрены нами на основе литературных данных, а также в рамках полевых и лабораторных исследований, которые позволили нам структурировать процесс диагностики проявлений опустынивания почв в форме специального алгоритма.

Ниже остановимся на описании этапов данного алгоритма.

Алгоритм диагностики проявлений опустынивания почв по актуальным признакам деградации почв.

I. Этап.

Цель: с помощью базовых индикаторов опустынивания (табл. 13) установить наличие или отсутствие проявлений деградации почв, потенциально сказывающихся на ограничении доступности почвенной влаги для растений (засоление и вторичное засоление, осолонцевание, эрозия, дефляция, уплотнение поверхностное или внутрипочвенное, коркообразование, образование внутрипочвенных минеральных экранов, загипсовывание, окарбоначивание, слитизация, образование подплужного горизонта).

К базовым индикаторам опустынивания почв относятся:

А) биопродуктивность;

Б) особенности положения объекта в рельефе, определяющие условия увлажнения;

В) условия засушливости микро- и макроклимата;

Г) характеристические признаки почв, определяющие доступность влаги для растений (почвообразующие породы, гранулометрический состав, мощность и строение почвенного профиля и корнеобитаемого слоя, минералогический состав, содержание гумуса).

При отсутствии проявлений деградации эти объекты должны быть отнесены к категории «эталонных» и использоваться как сравнительный аналог при диагностике опустынивания почв, расположенных в схожих почвенно-экологических условиях.

При наличии признаков указанных процессов или явлений (одного или совокупности) определяется необходимый набор дополнительных индикаторов (направлений) опустынивания почв.

II. Этап.

Цель: определить оптимальный (приемлемый) для конкретных почвенно-экологических условий набор дополнительных индикаторов (направлений) опустынивания почв.

Набор дополнительных индикаторов (направлений), отражающих состояние частных проявлений (типов) опустынивания почв на исследуемом объекте может быть выбран из следующего перечня:

- засоление;
- осолонцевание;
- водная эрозия;
- ветровая эрозия;
- опесчанивание;
- уплотнение поверхностное или внутрипочвенное;
- коркообразование;
- образование внутрипочвенных минеральных экранов (загипсовывание, окаربоначивание);
- слитизация;
- образование подплужного горизонта.

Набор дополнительных индикаторов(направлений) опустынивания почв формируется на основании первичных исследований почв, выполненных с использованием базовых индикаторов.

Таким образом, набор дополнительных индикаторов (направлений) для конкретных объектов, варьируется в зависимости от условий почвообразования и причин опустынивания на исследуемом объекте, принимая во внимание ландшафтные условия, историю местности, природные и антропогенные факторы.

III. Этап.

Цель: Выбор диагностических показателей (инструментариев) и их применение для исследования дополнительных индикаторов (направлений) опустынивания почв.

Диагностические показатели (инструментарии) для каждого из индикаторов выбираются индивидуально, и определяются в каждом конкретном случае принципами достаточности, измеримости, воспроизводимости и специфичности. Так, например, в качестве показателя засоления может выступать сухой остаток водной вытяжки из почв, электропроводность почвенных вытяжек, паст или суспензий, концентрация конкретных ионов, ионная сила раствора вытяжки, морфологические проявления солей на поверхности или в профиле почв и др., или их совокупность. Для диагностики осолонцевания может использоваться содержание обменного натрия в ППК, реакция среды (рН), показатель активности ионов натрия, морфологические признаки, степень дифференцированности почвенного профиля по грансоставу, и другие, или их необходимая совокупность.

Примерный список дополнительных индикаторов (инструментариев) по направлениям опустынивания представлен в таблице (табл. 13).

IV. Этап.

Цель: прямые исследования изменений доступности влаги растениям с использованием основной гидрофизической характеристики.

Построение ОГХ и сравнение результатов, полученных для разных объектов и между собой, служит необходимым условием подтверждения актуального опустынивания или риска опустынивания для исследуемого объекта.

Последним этапом данного алгоритма является исследование ОГХ почв подверженных опустыниванию и «эталонных» почв.

Таблица. 13. Алгоритм диагностики проявлений опустынивания почв по актуальным признакам деградации почв.

I ЭТАП (определение наличия или отсутствия проявлений деградации почв при помощи базовых индикаторов опустынивания)	
Базовые индикаторы опустынивания почв. 1. Показатели биопродуктивности: Вегетационный индекс (NDVI); биомасса; проективное покрытие. 2. Особенности положения объекта в рельефе, определяющие условия увлажнения. 3. Условия засушливости микро- и макроклимата. 4. Характеристические признаки почв, определяющие доступность влаги для растений. Морфологические показатели: Признаки засоления, осолонцевания; мощность гумусовых горизонтов; гранулометрический состав; сложение; структура; мощность корки (при наличии). Водно-физические показатели: Водопрочность почвенных агрегатов; влагопроводность с поверхности (по методике LADA). В случае выявления признаков деградации почв перейти на II ЭТАП алгоритма. В случае отсутствия признаков деградации, исследуемые почвы могут быть отнесены к категории «эталонных» и использоваться как сравнительный аналог (IV ЭТАП).	
II ЭТАП (определение дополнительных индикаторов опустынивания почв)	
III ЭТАП (выбор диагностических показателей (инструментариев) и их применение для исследования дополнительных индикаторов (направлений) опустынивания почв)	
Дополнительный индикатор/направление опустынивания почв.	Диагностические показатели (инструментарии).
Засоление	Электропроводность (ЕС) (по горизонтам).
Осолонцевание	pH (по горизонтам); определение степени солонцеватости на основе рNa; содержание углерода (%) (гумусовый горизонт).
Опесчанивание	Распределение частиц по размерам и определение гранулометрического состава (по горизонтам).
Водная эрозия	содержание углерода (%) (гумусовый горизонт).

Уплотнение	Распределение частиц по размерам и определение гранулометрического состава (по горизонтам).
Коркообразование	влажность (по горизонтам), влагопроводность.
IV ЭТАП (прямые исследования изменений доступности влаги растениям с использованием основной гидрофизической характеристики*)	

На основании рассмотрения таких проявлений опустынивания как засоление, осолонцевание, опесчанивание, водная эрозия в почвах Прикаспийской низменности показано, что в качестве интегрального признака опустынивания для всего разнообразия различных трендов опустынивания в почвах может выступать показатель их водоудерживающей способности, характеризуемый кривой основной гидрофизической характеристики почв – ОГХ. Физический смысл использования ОГХ для характеристики опустынивания заключается в том, что он отражает водоудерживающую способность, подвижность и доступность почвенной влаги для растений, а соответственно – главные факторы, лимитирующие биологическую продуктивность как в природных экосистемах, так и агроэкосистемах засушливых регионов.

Преимущества использования ОГХ для характеристики опустынивания заключаются в том, что его можно с успехом использовать даже тогда, когда в почвах наблюдается одновременно несколько синергетически проявляющихся признаков деградации/опустынивания, да еще и проявляющиеся в разной степени, действующие на фоне исходно разных условий (разного гранулометрического и минералогического состава почв, геоморфологической приуроченности, и пр.).

ОГХ почв – величина относительно постоянная, не имеющая признаков сезонной изменчивости, что делает ее универсальной по сравнению со многими другими почвенными признаками, обладающими сезонной

* Для корректного использования ОГХ при сравнении с «эталонными» почвами необходимо определение различающихся и влияющих на ОГХ факторов (гранулометрический состав, плотность, минералогический состав, процессы засоления и осолонцевания, содержание органического вещества).

изменчивостью, тем самым затрудняющей диагностику степени опустынивания.

Результатом исследования ОГХ почв является информация об изменении доступности почвенной влаги растениям в результате опустынивания. Но каким образом мы можем оценить данные изменения? Существуют ли шкалы или методики, позволяющие на основании изменения доступности влаги растениям оценить опустынивание в таких общепринятых показателях как степень, глубина и скорость.

Некоторые подходы к оценке степени, глубины и скорости опустынивания почв.

Большинство способов оценки степени, глубины и скорости опустынивания основываются на площадных (территориальных) изменениях почвенного покрова под воздействием факторов и агентов опустынивания.

Так, например, Г.С. Куст (1996) под скоростью опустынивания понимает «быстроту достижения различными компонентами опустынивающихся природных комплексов (почвы, растительности, рельефа) динамического равновесия с факторами и агентами опустынивания».

При этом в качестве критериев скорости Г.С. Куст (1996) использует площадные параметры. «Относительная скорость того или иного типа опустынивания, охватывающего некоторую территорию, тем выше, чем сильнее выражена гетерогенность этой территории по степени проявлений этого типа опустынивания».

Анализ научной литературы показал, что единые принципы определения скорости, глубины и степени опустынивания, при направленном изменении свойств почв не определены.

По нашему мнению, определение степени гетерогенности свойств почв, по аналогии с вышеописанным «площадным подходом», может быть использовано при оценке скорости опустынивания почв.

Например, чем выше разница в водоудерживающей способности между опустынивающимися и «эталонными» почвами, развивающимися в равных почвенно-экологических условиях, тем выше степень опустынивания почв.

Под глубиной опустынивания Г.С. Куст (1996) понимает «степень достижения природной системой в целом состояния динамического равновесия с факторами и агентами опустынивания».

В таком случае, для почв как одного из компонентов опустынивающихся систем, достижение этого равновесия может быть выражено в формировании равновесных автоморфных почв, или в исчезновении почв. При этом достижение динамического равновесия в случае формирования равновесных автоморфных почв является новым эволюционным путем развития данных почв.

Таким образом, в качестве критериев по оценке глубины опустынивания почв может выступать изменение свойств почв, подверженных опустыниванию, до характерных для тех почв, к которым стремиться данная почва.

Например, осолонцевание светло-каштановых почв может в ходе эволюционного развития изменить свойства этих почв, до характерных для солонцеватых почв или солонцов. В данном случае по степени изменения свойств почв можно рекомендовать оценивать глубину опустынивания почв при осолонцевании.

В завершении обзора подходов к оценке опустынивания почв отметим, что в целом характеристику опустынивания принято давать по пяти классам: нет опустынивания, слабое, умеренное, сильное, очень сильное. К.М. Петров (1996) подчеркивает, что необходимым условием при этом является определение фонового уровня, т.е. такого состояния природной среды, при котором процессы опустынивания еще не получили развития.

ВЫВОДЫ.

1. Предложено и обосновано обновленное определение понятия «опустынивание почв», которое можно сформулировать как комплексное явление антропогенной и природно-антропогенной деградации почв, характеризующееся ростом дефицита доступной для растений почвенной влаги.

2. Показано, что опустынивание почв связано прежде всего с недостатком влаги, доступной для растений в вегетационный период, что может проявляться в разных формах ухудшения свойств почв (потеря агрономически ценной структуры, накопление солей, рост щелочности, снижение содержания гумуса, изменение содержания гранулометрических фракций, и др.).

3. ОГХ –важный параметр, интегрально описывающий недостаток влаги вне зависимости от типа/направления опустынивания (при засолении, осолонцевании, опесчанивании, водной и ветровой эрозии).

4. Для оценки опустынивания почв необходимо руководствоваться специальным алгоритмом, предполагающим использование комплекса базовых и дополнительных диагностических показателей/индикаторов, которые в совокупности указывают на создание в почвах условий недостатка почвенной влаги для растений.

5. Особенности проявлений опустынивания почв при разных формах деградации почв заключаются в следующем:

- при засолении недостаток почвенной влаги доступной для растений возникает в результате: а) увеличения осмотического давления почвенного раствора; б) невозможности использования засоленного почвенного раствора растениями не галофитами;
- при осолонцевании снижение водоудерживающей способности почв вызвано, прежде всего, выносом илистой (гумусовой) фракции почв в

результате щелочного гидролиза, снижением содержания углерода и ухудшением структуры гумусового горизонта;

- при опесчанивании выдувание илистых (гумусовых) частиц из гумусового горизонта приводит к снижению водоудерживающей способности почв, прежде всего, в результате облегчения гранулометрического состава гумусового горизонта, ухудшения его структуры и водопрочности;

- при водной эрозии к снижению водоудерживающей способности почв приводит, прежде всего, уменьшение мощности гумусового горизонта, снижение содержания углерода и ухудшение структуры гумусового горизонта;

- при уплотнении нарушение свободного перемещения почвенной влаги по профилю создает участки корнеобитаемого слоя с недостатком почвенной влаги для растений;

- при коркообразовании опустынивание почв происходит в результате ухудшения инфильтрации влаги в глубь почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева О. В. Картографическая оценка опустынивания/деградации почвенного покрова Российской Федерации (на примере обзорных карт): дис. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, фак-т почвоведения, 2002.
2. Антонюк Г.С., Тарасова А.Г., Хлевина С.Е. Метеорологические особенности засушливого лета 2010 года // Сборник трудов молодых исследователей географического факультета МГУ им. Н. П. Огарева. Саранск, 2010. Вып. 13. С. 9–12.
3. Бедердинов Д. Р. Опустынивание и борьба с ним с ландшафтно-экологических позиций : дис. – М. : Моск. гос. открытый пед. ун-т им. МА Шолохова, 2001.
4. Бельгибаев М.Е. Степной бюллетень. Конвенция об опустынивании: Диагностические показатели аридизации опустынивания почв степной зоны Казахстана., - №11 зима 2002.
5. Бондарев А.Г. Теоретические основы и практика оптимизации физических условий и плодородия почв // Почвоведение, 1994, №11. С.35-42.
6. Борликов Г. М., Харин Н. Г., Бананова В. А. Опустынивание засушливых земель Прикаспийского региона. – 2000.
7. Ботанико-географическое районирование европейской части СССР, м 1:120000000. М.: ГУГК, 1979. 1 л.
8. Ботанико-географическое районирование европейской части СССР, м 1:120000000. М.: ГУГК, 1979. 1 л.
9. Брагина Т.М. Закономерности изменений животного населения почв при опустынивании (на примере сухостепной зоны Центральной Азии), дисс. на соиск. уч. степени д.б.н., Москва, 2004.
10. Брокгауз Ф. А. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. – Рипол Классик, 2013.

11. Брылев В. А. (ред.) География и экология Волгоградской области. 2-е изд., перераб. и доп. / авт. кол.; под общ.ред. проф. В. А. Брылева. — Волгоград: Перемена, 2005. — 260 с.
12. Быстрицкая Т.Л., Осычнюк В.В. Почвы и первичная биологическая продуктивность степей Приазовья. М., «Наука», 1975
13. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов: Учебное пособие. – Высшая школа, 1973.
14. Варчева С. Е. Математическое моделирование годовой динамики почвенной влаги на сельскохозяйственном поле //Биосферные функции почвенного покрова. Материалы Всероссийской научной. – С. 63.
15. Виноградов Б. В. Дистанционные индикаторы опустынивания и деградации почв //Почвоведение. – 1993. – №. 2. – С. 98-103.
16. Виноградов Б. В., Кулик К. Н. Аэрокосмический мониторинг динамики опустынивания Черных земель Калмыкии по повторным съемкам //Проблемы освоения пустынь. – 1987. – №. 4. – С. 45-53.
17. Виноградов Б.В. "Опустынивание засушливых земель России: новые аспекты анализа, результаты, проблемы." М.: Товарищество научных изданий, 2009.
18. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1984, 204 с.
19. Высоцкий Г. Н. Очерки о почве и режиме грунтовых вод. Бюллетень
20. Генетическая морфология почв / Б.Г. Розанов.- М.: Изд-во МГУ, 1975. – 294 с.
21. Глянц М.Х., Зонн И.С., Орловский Н.С. Об определении процесса опустынивания //Проблемы освоения пустынь. 1984. № 2.
22. Гунин П. Д., Панкова Е. В. О роли российских ученых в становлении концепции опустынивания аридных и семиаридных экосистем //Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. М.: Т-во науч. изд. КМК. – 2004. – С. 226-238.

23. Деградация и охрана почв/ Под общей ред. Акад. РАН Г.В.Добровольского. М.:Изд-во МГУ, 2002. - 654 с
24. Денисов Г. В., Осипова В. В. Изучение засухоустойчивости сортов люцерны //Вестник. – С. 8.
25. Дикарева Т. В., Опарин М. Л. Растительность северной части сухих степей Заволжья и ее антропогенные производные на залежах и пастбищах //Поволжский экол. журн. – 2002. – №. 3. – С. 199-216.
26. Добровольский Г.В., Федоров К.Н., Стасюк Н.В., Можарова Н.В., Быкова Е.П.Типизация структур почвенного покрова равнинного Дагестана и его антропогенная устойчивость //Почвоведение, 1991 № 3, с. 5-13.
27. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: изд-во МГУ, 2004. - 460с.
28. Затенацкий С.В., Зейлигер А.М., Губер А.К. и др. Исследование предпочтительных потоков влаги в лугово-черноземной почве Саратовского Заволжья.//Почвоведение, 2007, №5, с.585-598.
29. Зволинский В., Хомяков Д. Повышение продуктивности аридных ландшафтов / Составление и редакция В.П. Зволинского и Д.М.Хомякова. — Издательство Московского университета Москва, 1999. — С. 238.
30. Зинакова Л. В., Севастьянов В. В. Географические особенности опустынивания Чуйской котловины в Республике Алтай //Экологические проблемы природопользования. – С. 53 – 2011.
31. Золотокрылин А. Н. Климат и опустынивание засушливых земель России //Известия РАН. Серия географическая. – 2008. – №. 2. – С. 27-35.
32. Золотокрылин А. Н. Климатическое опустынивание. — М.: Наука, 2003. — 245 с.
33. Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б. Тенденция опустынивания Северо-Западного Прикаспия по MODIS–данным.
34. Зонн И. С., Орловский Н. С. Опустынивание: стратегия борьбы //Ашхабад: Ылым. – 1984.

35. Зырин Н. Г., Орлов Д. С. Методы определения активности ионов натрия в почвах и почвенных растворах. // Вестн. Моск. ун-та», биология, почвоведение, геология, география. – 1958. – №. 1. – С. 71-80.
36. Зырин Н.Г, Орлов Д.С. Физико-химические методы исследования почв. Издательство: МГУ, 1980. 383 с.
37. Иванова Е.Н. и др. Принципы и общая схема почвенно-географического районирования СССР.—В сб «Почвенно-географическое районирование СССР» //В сб.«Почв.-геогр районирование СССР» М. АН СССР. – 1962. – С. 7-22.
38. Кан В. М., Залесов С. В., Рахимжанов А. Н. Мелиоративные приемы борьбы с коркообразованием в лесном питомнике «Ак Кайын» в Республике Казахстан.
39. Канатьева Н. П., Краснов С. Ф., Литвин Л. Ф. Современные изменения климатических факторов эрозии в Северном Приволжье //Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 17. Научный редактор. – С. 14.
40. Карта растительности европейской части СССР, м 1:2500000. М.: ГУГК, 1979. 6 л.
41. Качинский Н. А. О структуре почвы, некоторых водных ее свойствах и дифференциальной порозности. Журнал «Почвоведение», 1947, № 6.
42. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч.2. Водно-физические свойства и режимы почвы. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1970.
43. Ковда В. А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв //М.: Колос. – 1984. – С. 304.
44. Ковда В. А. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. – Москва : Наука, 2008.
45. Ковда В.А. Аридизация суши и борьба с засухой.– М: Наука, 1977 – 272 с.
46. Ковда В.А. Моделирование процессов засоления и осолонцевания почв. М. – Изд-во Наука, 1980, 264 стр.

47. Ковда В.А. Почвы Прикаспийской низменности (северо-западной части). М.-Л., Изд-во АН СССР, 1950.
48. Ковда В.А., Самойлова Е.М., Скуджис И. и др. Почвенные процессы в аридных областях //10-й международный конгресс почвоведов.– М. 1974.
49. Ковда И.В. О некоторых региональных проявлениях опустынивания в почвах. Опустынивание засушливых земель России: новые аспекты анализа, результаты, проблемы. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2009. С. 130-132.
50. Комплексный технический проект 2 очереди строительства Приволжской оросительной системы в Саратовской области. Том 1: Природные условия. Книга 5: Прогноз водно-солевого режима. – М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1974 – 228с.
51. Конвенция по борьбе с опустыниванием в странах, которые испытывают серьезную засуху или опустынивание, особенно в Африке. 1994;
52. Конвенция о биологическом разнообразии // Национальная Стратегия сохранения биологического разнообразия России. - 1995г.
53. Корчагин В.А., Новиков В. Г. Почвозащитные и влагосберегающие технологические комплексы возделывания зерновых культур в сухостепных районах среднего Заволжья //Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №. 8.
54. Кочеткова Т. Н., Минашина Н. Г. Доступность влаги для растений при хлоридном и сульфатном засолении песчаных почв //Почвоведение. – 1983. – №. 7.
55. Кренке А. Н., Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В. Районирование Севера и Востока России по природно-климатическим условиям жизни //Региональные аспекты развития России в условиях глобальных изменений природной среды и климата. Отв. ред. акад. ВМ Котляков.-М.: Издательство НЦ ЭНАС. – 2001. – С. 65-74.

56. Кузнецова И.В. Роль органического вещества в образовании водопрочной структуры дерново-подзолистых почв. // Почвоведение, 1994, №11 С.31 -
57. Куликов А. И. и др. Пространственно-временная динамика свойств почв Байкальского региона в связи с опустыниванием //Почвоведение. – 2004. – №. 6. – С. 654-662.
58. Куст Г.С. Ещё раз об использовании и трактовке термина «опустынивание» // Доклады по экологическому почвоведению. 2011, № 1, вып. 15, с. 30-46;
59. Куст Г.С. Опустынивание и эволюция почв засушливых территорий: дис. - М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, фак-т почвоведения, 1996;
60. Куст Г.С. Опустынивание: принципы эколого-генетической оценки и картографирования. Москва, 1999.
61. Куст Г.С., Андреева О.В. Проблема опустынивания и почвы // Почвы в биосфере и жизни человека: монография. – М: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012, с. 70-117;
62. Куст Г.С., Розов С.Ю., Кутузова Н.Д., Большева Т.Н., Стома Г.В., Макаров И.Б., Цейц М.А., Девин Б.А., Андреева О.В., Марчук Е.В. Почвенно-экологические и агротехнологические особенности выращивания сои на черноземах в Краснодарском крае место издания. 2008. - Доклады по экологическому почвоведению. Вып.9, №2. 527 с.
63. Куст Г., Розов С., Кутузова Н. Агрогенная деградация чернозёмов как причина развития почвенной засухи, снижающей продуктивность сельскохозяйственных культур // Аридные экосистемы. — 2010. — Т. 16, № 1. — С. 16–27.
64. Ларионов Г. А. Истирание почвенных агрегатов в склоновых потоках //ББК 26.3 Э74. 2006 – С. 74.
65. Левицкая Н. Г., Шаталова О. В., Иванова Г. Ф. Засухи в Поволжье и их влияние на производство зерна Droughts in the Volga Region and Their Influence to Grain Production //Юго-Востока Всероссийский. – С. 71.

66. Михеева И. В. Вероятностные индикаторы состояния почв для оценки природных и антропогенных экологических рисков //ББК 51 С23. – С. 62.
67. Можарова Н.В., Федоров К.Н. Эволюция почвенных мезоструктур аккумулятивно-морской равнины Терско-Кумской низменности // Биологические науки, 1990, № 2, с. 15-20.
68. Муромцев Н. А. Потенциал почвенной влаги как основа гидрофизического подхода в исследованиях состояния и закономерностей движения влаги и химических веществ в почвах //Научные технологии в мелиорации (Костяковские чтения). – 2005. – С. 320.
69. Опустынивание: визуальные синтезы., публикации КБООН, под редакцией: Ю. Хори, К. Штульбергер, О. Симонетт. 2011;
70. Опустынивание засушливых земель России: новые аспекты анализа, результаты, проблемы. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2009. 298 с.
71. Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации / Г. Куст, Н. Глазовский, О. Андреева и др. // Аридные экосистемы. — 2002. — Т. 8, № 16. — С. 7–27.
72. Отчет о выполнении и оценке системы реализации. Пятый цикл отчетности, 2014–2015 г.Отчет от имени страны-участницы: Российская Федерация.(http://prais2.unccd-prais.com/pdfs2014/ACP2014_Russian%20Federation_319.pdf).
73. Панкова Е. И. Генезис засоления почв пустынь //М: Российская академия с. х. наук–Почв. ин-т им. ВВ Докучаева. – 1992. почвовед, № 1—2; 3—4; 5—8, М., 1927.
74. Парамонов Е. Г., Ишутин Я. Н., Симоненко А. П. Кулундинская степь: проблемы опустынивания. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2003.
75. Петров К. М. Естественные процессы восстановления опустошенных земель //Петерб. ун-та. – 1996.

76. Почвы и растительность природных зон СССР (практическое руководство по учебной зональной практике по маршруту Москва-Крым-Молдавия). – М.: изд-во МГУ, 1987. – 95с.
77. Преддипломный практикум по физике твердой фазы почв (для специалистов). Учебное пособие. / Под ред. Е.В. Шеина, 2011.
78. Практикум по физике. Рабочая тетрадь. Учебное пособие / под ред. Е.В. Шеина. – М.: Гриф и К, 2011. – 64с.
79. Приходько В.Е. Решенные и нерешенные проблемы ирригации и эволюции почв. Материалы V Международной конференции «Эволюция почвенного покрова: история идей и методы, голоценовая эволюция, прогнозы». октябрь 2009. Г. Пушкино.
80. Растительность европейской части СССР / Под ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1980. 428 с.
81. Роде А.А. Водный режим и баланс целинных почв солонцового комплекса. (По материалам Джаныбекского стационара за 10 лет – 1950-1960 гг.). - Почвоведение, 1962, №3.
82. РодеА.А., Большаков А.Ф. Опыт освоения целинных солонцовых почв прикаспийской низменности. – М.: ин-т леса академии наук СССР, 1958.
83. Розанов Б. Г. Проблемы деградации засушливых земель мира и международное сотрудничество по борьбе с опустыниванием //Почвоведение. – 1977. – №. 8. – С. 5-11.
84. Розанов Б.Г. Аридизация суши и антропогенное опустынивание. // Почвоведение. 1984 6. № 12. С. 45-53.
85. Розанов Б.Г., Зонн И.С. План действий по борьбе с опустыниванием в СССР: оценка, мониторинг, предупреждение и борьба с ним // Проблемы освоения пустынь. 1981, N 6, с.22-31.
86. Савин И. Ю. и др. Спутниковый мониторинг воздействия засухи на растительность (на примере засухи 2010 года в России) //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – №. 1. – С. 150-162.

87. Сайт ООН. The United Nations Today. United Nations. New York. 2008 (<http://www.un.org/ru/development/progareas/global/desertification.shtml>).
88. Славко В.Д., Куст Г.С., Розов С.Ю., Андреева О.В., Кегиян М.Г. Опыт тестирования и адаптации метода LADA в России для оценки и картографирования деградации земель в засушливых регионах на локальном уровне// Аридные экосистемы, 2014, т.20, № 4(61), с. 44-56
89. Смагин А. В., Садовникова Н. Б. Мизури Маауиа Бен-Али. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования //Почвоведение. – 1998. – №. 11. – С. 1362-1370.
90. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Хайдапова Д.Д., Шевченко Е.М. Экологическая оценка биофизического состояния почв. М.МГУ. 1999. 48с.
91. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв. // Почвоведение, 2003, №3, с.328-341.(Smagin A.V. Theory and Methods of Evaluating the Physical Status of Soils // Eurasian Soil Sci., 2003.Vol. 36, № 3, p.301-312)
92. Смагин А.В., Садовникова Н.В. и др. Влияние органического вещества на водоудерживающую способность почв.// Журнал Почвоведение. – 2004. № 3. - С. 312-321;
93. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Глаголев М.В., Кириченко А.В. Новые инструментальные методы и портативные электронные средства контроля экологического состояния почв и сопредельных сред // Экологический вестник Сев. Кавказа, 2006, т.2, №1, с.5-16.
94. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2012, 544 с.
95. Смоленцева Е. Н. Параметры мониторинга почв и почвенного покрова в системе долговременных наблюдений //Ответственные за выпуск: Доктор технических наук, профессор, Проректор по научной работе СГГА, Новосибирск. – 2009.
96. Сиземская М.Л. Мелиорируемые солонцы Северного Прикаспия и подходы к их классификации //Почвоведение. – 1991. – №. 9. – С. 97-108.

97. Сохранить и приумножить продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, Рим 2011(<http://www.fao.org/ag/save-and-grow/ru/>);
98. Стасюк Н. В. и др. Оценка деградации и опустынивания почвенного покрова северного равнинного Дагестана //Экология. – 2004. – №. 3. – С. 172-178.
99. Тарасова А. Г. и туризма ГОУВПО «МГУ им. НП Огарева» E-mail: geogr_moris@mail.ru, СЕ Хлевина, начальник ГУ «Мордовский центр по гидрометеорологии.
100. Тарцан А. Г. Физико-географическая характеристика Светлоярского района г. Волгограда //Молодой ученый. – 2015. – №. 6. – С. 320-324.
101. Факты о пустынях и опустынивании, 2010 (<http://www.un.org/ru/development/sustainable/desertification/>).
102. Физико-географическое районирование СССР/ под ред Н.А. Гвоздецкого. – М.: изд-во МГУ, 1968.
103. Физико-химические методы исследования почв. Под.ред. Н.Г. Зырина, Д.С. Орлова. – М.: Изд-во МГУ, 1980, 382 с.
104. Фролов А. В., Страшная А. И. О засухе 2010 года и ее влиянии на урожайность зерновых культур //В сб. «Анализ условий аномальной погоды на территории России летом». – 2010. – С. 22-31.
105. Хан. Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. М. Наука. 1969. 142 с.
106. Харин Н. Г., Татенши Р., Харахшех Х. Оценка и картографирование опустынивания засушливых земель Азии //Опустынивание и деградация почв: материалы межд. научной конференции. Москва. – 1999. – С. 11-15.
107. Харин Н.Г., Нечаева Н.Т., Николаев В.Н. и др. Методические основы изучения и картографирования процессов опустынивания (на примере аридных территорий Туркменистана). Ашхабад, 1983. 102 с.

108. Харин Н.Г., Орловский Н.С., Бабаева Т.А.. Пояснительная записка к карте антропогенного опустынивания аридных территорий СССР. Ашхабад: Ылым, 1987. 32 с.
109. Харин Н.Г., Бабаев А.М., Курбанмурдов К. Методические указания по изучению процессов опустынивания аридных территорий (на примере Монголии). Ашхабад, 1992. 80 с.
110. Химия почв: органическое вещество почв : учеб.-метод. пособие / Н. А. Мартынова. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. – 255 с.
111. Хитров Н.Б., Назаренко О.Г. Очаговая форма развития деградации почв степной зоны. Опустынивание и деградация почв: Материалы международной конференции – М.: Издательство МГУ, 1999 – 508 с., с. 300-301.
112. Хитров Н. Б. Генезис, диагностика, свойства и функционирование глинистых набухающих почв Центрального Предкавказья //М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева. – 2003.
113. Хруцкий В. С., Голубева Е. И. Динамика опустынивания аридных экосистем внутренней Азии //География и природные ресурсы. – 2011. – №. 4.
114. Чижиков П. Н. Карта материнских почвообразующих пород. Составлена в Музее Землеведения МГУ им. М. В. Ломоносова. М., Изд – во МГУ, 1968.
115. Шеин Е. В. и др. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001.
116. Шеин Е. В. Курс физики почв.: Учебник – М. : Изд-во МГУ, 2005 – с. 432.
117. Щерба Т.Э. Особенности мезо- и микронеоднородностей почвенного покрова участка Приволжской оросительной системы // Вестник МГУ. Серия 17. Почвоведение. – 2012. № 2.

118. Щербаков Ю. С. Использование геоинформационного картографирования для определения уязвимости территорий от природно-техногенных процессов // Совершенствование. – 2011. – С. 8.
119. Aubreville A. Climats, foretsetdesertificationdel`Afriquetropicale // Societed`editionsgéographiques, maritimesetcoloniales. Paris. 1949. 255 p.
120. Carr J. T. Texas droughts: causes, classification and prediction. Report №30. Texas Water development board. Aust, Tex. – 1966.
121. Charney J. et al. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions //Journal of the Atmospheric Sciences. – 1977. – T. 34. – №. 9. – С. 1366-1385.
122. Chiew F. H. S. et al. Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments //Journal of Hydrology. – 1995. – T. 167. – №. 1. – С. 121-147.
123. Darkoh M.B.K. Combating desertification in the southern african region: An Updated regional assessment. UNEP. Nairobi.1989.
124. Dregne H., Boyadgiev T. G. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification. – 1983.
125. EEA, 2001. Environmental Signals 2001. European Environment Agency, Copenhagen
126. Emanuel W. R., Shugart H. H., Stevenson M. P. Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes //Climatic change. – 1985. – T. 7. – №. 1. – С. 29-43.
127. FAO-LADA (Food and Agriculture Organization of the United Nations - Land Degradation Assessment in Drylands. 2009. Field manual for local level Land Degradation Assessment in Drylands. LADA-L Part 1: Methodological Approach, Planning and Analysis. Rome: FAO. 76 pp. Available at: <http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=252&Itemid=165&lang=en>
128. GEF KM:Land. 2010. Project indicator profiles for the GEF Land Degradation Focal Area. Final report by the GEF MSP: Ensuring impacts from

SLM – Development of a Global Indicator System (KM:Land Initiative). Hamilton Ontario: UNU-INWEH. 67 pp. Available at: <http://www.comap.ca/kmland/display.php?ID=2&DISPOP=AKMLIPR> >

129. Gupta S.C., Larson W.E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content, and bulk density. // Water Resour. Res., 1979, v.15, P. 1633- 1635.

130. Hadas A. Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. – 1973. Heidelberg—New York: Springer—Verlag, 1973.

131. Hillel D. Soil and water. Physical principles and processes. New York. - 1971;

132. Huang D., Wang K., Wu W. L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China //Journal of Arid Environments. – 2007. – T. 70. – №. 1. – C. 120-136.

133. Janzen, H.H. 1993. Soluble salts. p. 161-166. In: M.R. Carter (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publ., Boca Raton.

134. Kust G. S. To the treatment and interpretation of the “desertification” term in Russia //Arid Ecosystems. – 2011. – T. 1. – №. 4. – C. 299-304.

135. Land degradation & development, 9, 375-382 (1998): “Desertification and drylands development: what can be done?”, M. Mainguet, G.G. Da Silva. London: Acad. Press, 1971.

136. Mabbutt J.A. A new global assessment of the status and trends of desertification // Environmental Conservation. 1989. V. 11.P.103

137. MEA (2005) Watson R. et al. (49 authors). Living beyond our means: Natural assets and human well-being. Statement from the Millennium Ecosystem Assessment Board.

138. Nianfeng L. Artificial reproduction on the quaternary geological environment and soil desertification [J] //Quaternary Sciences. – 1998. – T. 2.–C. 003.

139. Odingo R.S. The definition of desertification: Its programmatic consequences for UNEP and the International Community // Desertification Control Bulletin. UNEP. Kenya.1990. No. 18. P.31.
140. Odingo R.S. The definition of desertification: Its programmatic consequences the InternationalCommunity // Desertification revisited. Proc. of an Ad-Hoc Consultative Meeting on theassessment of desertification. UNEP-DC/PAC. Nairobi. 1990. P. 7.
141. Rozanov B.G. Global assessment of desertification: status and methodologies —Addendum // Desertification revisited. Proc. of an Ad-Hoc Consultative Meeting on the assessment of desertification. UNEP-DC/PAC. Nairobi. 1990. P.
142. Russel E. W. Soil conditions and plant growth. London: Longman Publ. H., 1973.
143. Schlesinger W. H. et al. Biological feedbacks in global desertification //Science. – 1990. – T. 247. – №. 4946. – C. 1043-1048.
144. Shmatkin V. F., Sergeev N. A. Ameliorative condition of irrigated soils in the Kalmyk ASSR. – 1986.
145. Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no.18. U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
146. Thurow T. L., Taylor Jr C. A. Viewpoint: the role of drought in range management //Journal of Range Management. – 1999. – C. 413-419.
147. UNEP (1990). Desertification revisited : proceedings of an Ad Hoc Consultative Meeting on the Assessment of Desertification. Nairobi, 15-17 February 1990: UNEP-DC/PAC
148. United Nations Conference on Desertification (UNCOD). 1978. Round-up, plan of action and resolutions. NewYork: UnitedNations.
149. Verstraete M.M. Defining desertification: a review // Climatological change. 1986. V. 9. No.1. P. 1.
150. World Bank. Dryland management: the desertification problem .By Ridley, Nelson. Working paper No 8. 1988.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение №1. Подробное описание изучаемых объектов исследования.

Степное Заволжье (на примере участков, расположенных на территории Приволжской оросительной системы).

Почвообразующие породы:

Исследуемый объект располагается на 2 и 3 надпойменных террасах реки Волга, 2й надпойменной террасе реки Большой Караман и сложен, соответственно, среднехвалынскими, раннехвалынскими и хазарскими отложениями.

Среднехвалынские отложения являются морскими по генезису и представлены тяжелыми породами: глинами, тяжелыми и средними суглинками. Суглинки коричневые, с пятнами ожелезнения, известковистыми стяжениями и новообразованиями мелкокристаллического гипса. Мощность 18-28м.

Раннехвалынские отложения генетически являются аллювиальными и повсеместно залегают на хазарских отложениях. Они представлены, в основном, желтовато-серыми, мелко- и среднезернистыми песками, в верхней части толщи замещаются супесями, средними карбонатными суглинками. Мощность 21м.

Озерно-аллювиальные хазарские отложения сложены в нижней части толщи желтовато-серыми, мелкозернистыми, кварцевыми песками, сменяющимися в верхней части желтовато-коричневыми глинами и тяжелыми суглинками. Максимальная мощность отложений 65м (Комплексный..., 1974).

Климат:

Резко континентальный с жарким летом и холодной зимой, небольшим снежным покровом. Среднегодовая температура составляет +5,3 °С. Максимальная среднемесячная температура июля +22, 4°С, минимальная в феврале – -11,9°С, соответственно абсолютный максимум температур

+42,7°C, абсолютный минимум - 46°C. Безморозный период длится 100-125 дней. Среднегодовое количество осадков – 461 мм/год, причем более 70% из них выпадает в теплый период года, когда испаряемость в 2-2,5 раза превышает сумму осадков. Количество осадков очень неравномерно распределено по годам, периоды с повышенным количеством осадков сменяются периодами засух с полным их отсутствием. Часты суховеи, сухие горячие ветры с юго-востока, дующие по 35 дней при температуре 40-42°C. Большинство искусственных и естественных водоемов, питающихся атмосферными осадками, в жаркое лето мелеют или полностью пересыхают.

Рельеф:

Сформировался в результате новейших тектонических движений, вызвавших колебания уровня Каспийского моря и активную аккумулятивно-эрозионную деятельность реки Волга и её притоков в неоген-четвертичное время. В долине реки Волги, где расположена основная часть рассматриваемой оросительной системы, выделяется четыре надпойменные террасы.

Первая, вторая и третья надпойменные террасы сложены соответственно раннехвалынскими, среднехвалынскими и нижнехвалынскими отложениями.

Растительность.

В соответствии с ботанико-географическим районированием данная территория относится к ковыльно-типчаковым степям Заволжско-Казахстанской степной провинции (Ергенинско-Заволжской подпровинции) в составе Евразийской степной области (Ботанико-географическое..., 1979). По карте растительности европейской части СССР (1979) изучаемая территория представляет собой земли сельскохозяйственного назначения (пашни, а также залежи и сбитые полыньковые, ромашниково-белополынны, белополынны пастбища) на месте сухих бедноразнотравных ковыльно-типчаковых заволжско-казахстанских степей (*Stipa lessingiana*, *S. capillata*, *Festuca valesiaca*, *Tanacetum achilleifolium*). Среди основных вариантов

степной растительности в данном регионе: а) северные сухие степи на темно-каштановых почвах, часто в комплексе с типчаково-белопопынными (*Artemisia lerchiana*), типчаково-ромашниковыми и белопопынными сообществами на солонцах; б) южные сухие степи на темно-каштановых солонцеватых и каштановых почвах с участием в комплексе также и ксерофитноразнотравно-чернопопынных и чернопопынно-ромашниковых (*Artemisia pauciflora*, *Kochia prostrata*, *Tanacetum achilleifolium*) сообществ на солонцах (Дикарева, Опарин, 2002).

Сухостепное Заволжье.

Климат:

Климат провинции континентальный с умеренно холодной короткой зимой, засушливым и теплым продолжительным летом. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2000-2800°. Показатель увлажнения за год 0,20-0,25. Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха около -30° (Физико-географическое..., 1968). Вследствие засушливости климата биомасса растительности сухих степей меньше, чем в черноземной зоне, и составляет около 100 ц/га, причем основная ее часть (85%) приходится на корни. С опадом ежегодно поступает в почву около 160 кг/га азота и зольных элементов (Добровольский, Урусевская, 2004).

Рельеф:

По характеру рельефа в пределах северо-западной части Прикаспийской низменности выделяется несколько геоморфологических районов (Ковда, 1950). Изучаемая территория относится к району Присыртовой хвалынской террасы (Уступ).

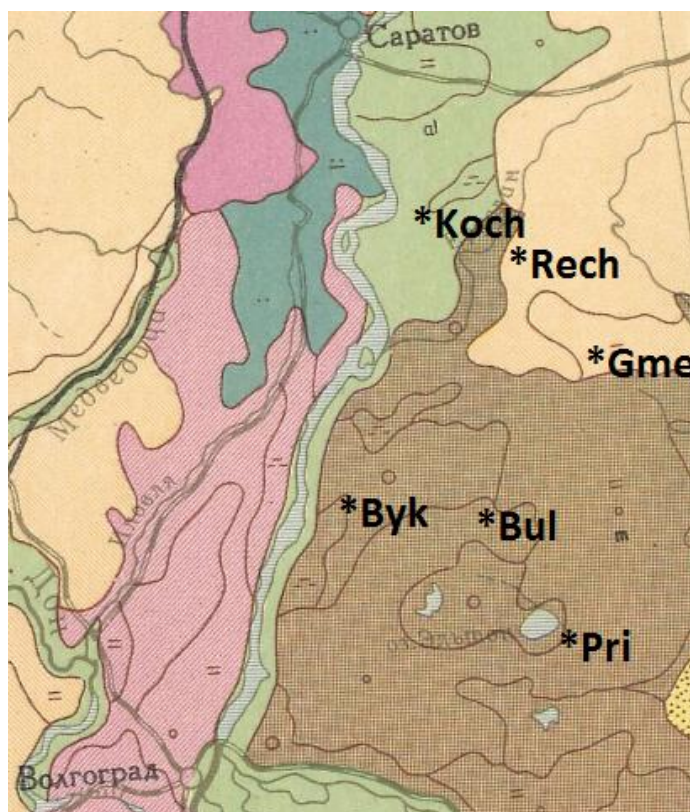
По рельефу присыртовый уступ представляет равнинный, террасовидный, обращенный к югу склон. Поверхность района представляет вместе с тем сочетание вытянутых, пологих, ориентированных с запада на восток гряд, иногда низких курганов и плоских широких ложбин, падающих

в сторону речных долин (к Еруслану и к Узеньям), либо в сторону Прикаспийской низменности.

Наклонное положение присыртковой террасы широко используется для лиманного орошения путем улавливания весенних снеговых вод, сбегających не только по самой долине, но и с сыртов.

Почвообразующие породы.

Почвообразующие породы на изучаемой территории весьма разнообразны (рис. 39). Они представлены осадочными породами древнего соленого Хвалынского моря, аллювиальными отложениями, а также «Сыртовыми глинами». Преимущественно это тяжелые и средние суглинки, нередко засоленные. Для средних и тяжелых суглинков характерна палево-бурая окраска и плотное сложение.



Условные обозначения (генетические типы почвообразующих пород):

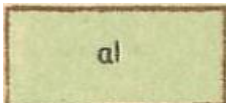
	«Сыртовые глины»
	Морские засоленные (m)
	Аллювий (al)

Рис. 39. Фрагмент карты почвообразующих пород Европейской части СССР (1968) с ключевыми участками маршрутной экспедиции Саратов-Палласовка-Эльтон-Волгоград.

Северный Прикаспий (на примере участков в Светлоярском районе Волгоградской области, Черноярском и Енотаевском районах Астраханской области).

Климат.

Климат на данном участке Прикаспийской низменности резко континентальный. Величина испаряемости в годовом исчислении составляет —от 800 до 900 мм. Тогда как годовое количество осадков всего - 260–350 мм. Таким образом, коэффициент увлажнения в этой части Северного Прикаспия не превышает 0,4—0,3. Недостаток увлажнения в какой-то степени восполняется искусственным орошением.

По сведениям В.А. Брылева (2005) минимальная температура, зарегистрированная на изучаемой территории составляет «-37°C», максимальная – «+42°C». Средняя температура января -9°C, тогда как средняя температура в июле 24°C.

Почвообразующие породы и рельеф.

Рельеф изучаемой территории равнинный. Светлоярский район расположен на северном плато Ергеней, в очень засушливой зоне. Волгоградская часть Ергененской возвышенности представлена песками и суглинками и располагается южнее Волго-Донского канала.

Высоты над уровнем моря не превышают 150–180 м, преобладают волнистые водоразделы и плавные склоны речных долин и балок. Возвышенность довольно круто обрывается на восток, а западный склон полого опускается к долине Дона (Брылев, 2005).

Почвообразующие породы на изучаемой территории представлены осадочными породами древнего соленого Хвалынского моря, а также золовыми отложениями (перевеянные пески) (рис. 40).

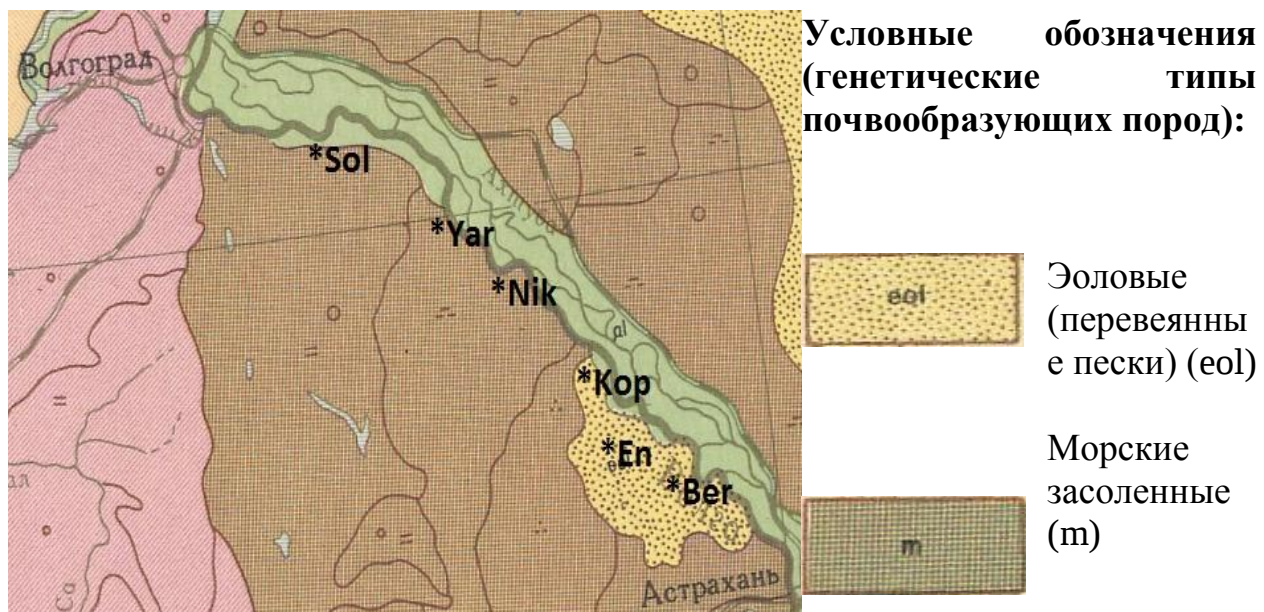


Рис. 40. Фрагмент карты почвообразующих пород Европейской части СССР (1968) с ключевыми участками маршрутной экспедиции Волгоград-Енотаевка.

Приложение №2.

Таблица. 14. Аналитические данные почвенных разрезов, расположенных в сухостепном Заволжье (участки в Старополтавском, Быковском и Палласовском районах Волгоградской области)

Название точки	Горизонт	ЕС 1:1 паста свежий	pH суспензия 1:2,5	Водопрочность агрегатов по Андрианову, %	pNa паста 1:1	гумус по Тюрину	NDVI снимок Landsat-8 11.08.2011
КОСН-1	A (1,5-25)	48	7.38	30.5		1.14	0.29
	AB (25-50)	51	7.69		3.64		
	Bcs (65...)	99	8.9				
КОСН-2	A(3-11)	110	8.58	28.5		1.41	0.217
	A (11-30)	108	8.57		3.44		
	AB (30-50)	105	8.08				
КОСН-3	A (1-20)	42	7.88	44.75		1.31	0.242
	AB (20-27)	102	8.53		3.64		
	Bca (27-...)	125	9.21				
РЕСН-1	A (0-50)	36	7.5	71.5		0.97	0.35
	AB (50-70)	54	8.31	89.75			
	B (97...)	50	8.42				
	песок снизу блюда	29	8.64				
РЕСН-2	A пах (0-24)	41	7.29	33.5	3.58	1.49	0.31
	A1 (24-42)	62	7.93				
	Bca (42-55)	67	8.1				
GME-1	Ap (0-24)	98	8.21	32		1.61	0.237

	B1 (24-38)	84	8.24		3.58		
	Вса (38-60)	189	9.07				
GME-2	Апах (0-10)	99	7.56	66.5		2.41	0.26
	B1 (30-50)	141	8.23				
	B2 (50...)	48	8.2				
GME-3	Ар (0-23)	46	7			1.73	0.39
	Е (23-31)	54	7.4		3.35		
	В(31-45)	35	7.05				
BUL_1	А (3-23)	97	8.33	100		1.20	0.334
	B1 (23-40)	97	8.67		3.30		
	B2 (40-50)	173	9.19				
BUL-2	А (3-29)	420	7.25	95.625		2.72	0.437
	B1 (20-50)	118	8.05				
	B2 (50...)	71	7.77				
BUL-3	Ad+A1 (0-25)	193	7.61	99.75		3.79	0.307
	A1 (6-36) нижняя часть (25-36)	77	8.21		3.75		

	AB (36-64)	117	8.98				
	Bca, cs(64-77)	120	8.77				
BYK 1-1	Ap (0-21)	168	6.83	20.75		1.93	0.23
	A (21-28)	65	7.09				
	AB (28-43)	110	7.74				
	B (43-70)	37	8.21		3.54		
	BC (70-110)	102	8.17				
	110-130	114	8.93				
	130-150	116	9				
	150-170	108	8.9				
	170-190	94	9.07				
BYK 1-2	Ap+A1 (0-31)	111	8.21	72.25			0.38
	AB(31-52)	66	8.46				
	B1 (52-68)	149	9.05		3.46		
	BC (68...)	165	9.07				
BYK-3	Ap (0-30)	92	8.05	8.5		0.59	0.37
	B1 (30-35)	150	8.58				
	B2(35-45)	83	9.04		3.30		
PRI 1-1-1	Ad (0-4)	57	7.9			0.63	0.13
	A p(4-15)	107	8.79	31.75			
	Ap (15-21)	280	9.35				
	B1 (21...)	800	9.61		2.41		
PRI 1-1-2	Ap (1-15)	125	8.07	76.75			

	Ap	92	8.41				
	B1 (24-38)	113	8.93				
PRI-1-2-1	K(0-1,5)	580	7			0.81	0.13
	Ap (1,5-23)	83	8.6	59.75			
	Bca (23-40)	112	8.65		3.80		
PRI 1-2-3	K (0-1,5)	216	8.52				
	Ap (1,5-17)	137	8.73	17			
	B1 (17-29)	172	9.48				
	Bca (29-40)	254	9.69				
PRI 1-3	K (0-1,5)	350	8.22			0.29	0.13
	Ap (1,5-10)	153	9	12.25			
	B1 (10-28)	125	9.1		3.47		
	B2 (28-32)	150	9.2				
PRI 1-4	A (1,5-17)	348	9.39	28		1.84	0.11
	B1 (17-30)	559	9.52		2.56		
	B2 (30-35)	4000	8.37				

Приложение №3.

Таблица 15. Аналитические данные почвенных разрезов, расположенных в Северном Прикаспии (участки в Светлоярском районе Волгоградской области, Черноярском и Енотаевском районах Астраханской области).

Название точки	Горизонт	Глубина	Влажность весовая % средняя	Плотность (P _v), г/см ³	ЕС	pH	Водопрочность агрегатов, %	Масса укосов с площадки 1м*1м, г	NDVI 08.2011
SOL_1	A	2-20			147	8.65	84		0.16
	AB	20-35			215	8.58			
	B	35-67			93	8.6			
SOL-2	A	4-12	13.39	1.32	186	8.38	58	341	0.17
	AB	12-32	9.44	1.29	153	8.71			
	Bca	32-65	6.15	1.32	711	9.23			
SOL_2_1	Ad	0-5			76	7.34	53.75	56	
	A	5-12	14.94	1.25	71	8.42			
	AB	12-58	7.32	1.24	1880	8.6			
OST_1	Ad	0-4	12.59	0.00					
	AB	4-12	5.49	1.27					
	B1sa	12-27	5.63	1.28					
	B2	27-60	1.77	1.39					
YAR_1	A	0-8	12.75	1.17	320	9.36	8	43	0.42
	AB	8-37	5.23	1.26	280	8.88			
	B1	37-45	11.72	1.39	1416	7.97			

	B2	45-82	10.67	1.37	1505	8.45			
YAR_2	A	0-7	8.42	0.00	139	8.21	14.5	86	0.25
	AB	7-22	3.08	1.22	85	8.19			
	B1	22-47	3.84	1.42	595	7.81			
	B2	47-70			343	9.05			
KOP_1	A	0-12	1.94	1.46	72	8.23			0.45
	AB	12-46	1.13	1.59	60	7.54			
	B	46-70	4.28	1.56	53	7.89			
KOP_2	A	0-15	2.00	0.00	154	7.92	51.5		0.53
	AB	15-42	1.45		52	7.75			
EN_1	A	0-13	5.09	1.46	161	8.45	24.25	31	0.35
	AB	13-30	2.35	1.52	89	8.26			
	B2 ca	30-52			107	8.80			
EN_2		0-10			240	8.65	5	20	0.33
		10-20			246	8.67	9.75		
		20-30			201	9.02			
EN_3	A	0-13	5.86	1.47	119	8.20	43.75	102	0.315
	B1	13-25	3.79	1.44	217	8.02			
	B2	25-45	2.60		98	9.03			
BER_1	A	0-20	3.75	0.00	67	7.91	15.75	88	0.12
	B1	20-38	1.30	0.00	122	8.41			
BER_2	AE	0-5	4.19	1.30	111	7.41	39.25	35	0.05
	EB	5-13	7.60	1.34	976	9.01			
	B	13-47	8.61	1.36	7800	8.85			
NIK-1		0-10			215	7,52	79.75	20	0.37
		10-20			170	7,8			

		20-30			108	8,2			
		30-40			90	7,75			
		40-50			99	8,54			
		50-60			121	8,75			
NIK-2		0-10			111	8,87		107	0.48
		10-20			101	8,38			
		20-30			73	8,40			
		30-40			91	8,78			
		40-50			141	8,93			
		50-60			155	9,03			
NIK-3	A	0-4	4,24		108	7,15	5	123	0.54
	AB	4-24	3,78		79	8,12			
	B1	24-50	2,9		78	8,16			
	BC	50-75	1,58		122	8,9			
NIK-4		0-10			47	7,50	21.5		0.56
		10-20			138	8,44			
		20-30			66	8,57			
		30-40			61	7,95			
		40-50			135	8,58			
		50-60			117	8,75			
IKR_1	A	0-4			48	7.16	9.5		
	AB	4-19			20400	7.92			
	B	19-31			19720	7.8			
	Bsa	31-50			16150	7.9			
ZAM-1	A							83	0.21
	BC	2-22			98	8.88			

Приложение № 4. Интегральные кривые распределения частиц по размерам исследуемых образцов.

