

УДК 631.471.

ДИАГНОСТИКА ОПУСТЫНИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСНОВНОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ

© 2016 г. Т.Э. Щерба*, Г.С. Куст*, А.В. Смагин**, О.В. Андреева*, В.Д. Славко*

*Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

Россия, 11999, г. Москва, Ленинские горы, д. 1. E-mail: takhir.shcherba@yandex.ru, gkust@yandex.com

**Институт лесоведения РАН

Россия, 143030, Московская обл., п/о Успенское, ул. Советская, д. 21.

Поступила 16.11.2015

На основании рассмотрения таких проявлений опустынивания как засоление, осолонцевание, опесчанивание 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, отражая способность почв удерживать влагу, подвижность и доступность почвенной влаги для растений, интегрально характеризует главные эдафические факторы, лимитирующие биологическую продуктивность как в природных экосистемах, так и агроэкосистемах засушливых регионов. ОГХ почв – величина постоянная, не имеющая признаков сезонной изменчивости, что делает ее универсальной по сравнению со многими другими почвенными признаками, обладающими сезонной изменчивостью, тем самым затрудняющей диагностику степени опустынивания.

Ключевые слова: опустынивание, основная гидрофизическая характеристика почв, диагностика, доступность влаги.

Опустынивание является одной из наиболее острых экологических проблем в засушливых регионах. Причины опустынивания и проявления опустынивания в затрагиваемых компонентах экосистем, а также их взаимные сочетания как в России, так и во всем мире, чрезвычайно многообразны (Куст, Андреева, 2012), что затрудняет диагностику этого комплексного явления, проявляющегося в изменениях почв, растительного и животного мира, состояния местных водных ресурсов, состояния поверхности, а также экологических и гидрологических процессов, происходящих внутри «земной биопродуктивной системы» (Конвенция ..., 1996).

Индикаторы опустынивания, как правило, отражают в первую очередь состояние растительности, для чего используются в разных формах такие параметры как проективное покрытие, общая биомасса или продуктивность, различные «вегетационные индексы» (NDVI, PVI, DVI, WDI, RVI, SAVI и другие; Черепанов, 2011), реже – состав растительных сообществ (Kust, Novikova, 2006; Гунин и др., 2010, 2014). В любом случае признаки состояния растительности выступают в качестве наиболее очевидных и значимых физиономических индикаторов опустынивания, поскольку отражают состояние и динамику биопродуктивности земель (потенциальной и актуальной).

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.

Однако с почвами дело обстоит сложнее. Для целей мелкомасштабного картографирования, как правило, наиболее удобными индикаторами служат 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 (Куст и др., 2002; Славко и др., 2014). Иными словами, через эти индикаторы находит косвенное применение все тот же принцип отражения потенциальной биологической продуктивности на конкретных землях Удачным способом для целей среднemasштабной оценки оказался также способ учета в составе почвенного покрова так называемых «переходных» почв, промежуточных в ряду динамических и эволюционных изменений почв при опустынивании (Куст, 1999).

Для целей крупномасштабного исследования или «точной» характеристики отдельных участков указанные способы по понятным причинам оказываются неприменимыми, что создает трудности при диагностике опустынивания, и требует поиска «особых» почвенных индикаторов. Очевидными предложениями в данных случаях выступают, как правило, признаки все тех же «деградационных» процессов: содержание солей в почвах, разные признаки солонцеватости, уплотнения, эродированности, которые устанавливаются для отдельно взятого почвенного разреза или почвенного индивидуума (Харин и др., 1987, 1992; Бананова, 1986). Однако, при использовании этих признаков сущность опустынивания как деградации земель, «снижения или потери их биологической или экономической продуктивности» остается как бы «за кадром», «рассыпаясь» на отдельные проявления деградации почв. Возникает вполне резонный вопрос: «Зачем заменять, например, известное явление засоления почв или эрозии почв на новый, объединяющий их термин – опустынивание? В чем смысл этого, и не отдает ли такое предложение псевдонаукой?» Особенно остро такая постановка вопроса звучит при обосновании «опустынивания» тем, что все это происходит в «аридных, субаридных и засушливых субгумидных районах» (то есть, 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), а вне таковых уже опустыниванием не является, а остается в пределах индивидуальных форм и вариантов деградации почв. Нонсенс, не укладывающийся в нормальную логику!

В данной работе мы делаем попытку разобраться в том, имеется ли какой-либо физический смысл в том, когда о проявлениях опустынивания в почвах говорится в терминах засоления, эрозии и пр.. Можно ли использовать термин «опустынивание» в отношении почв, а не в целом «земель», и как это может быть связано со «снижением или потерей их биологической или экономической продуктивности»? Может ли быть оправдан разговор о «почвенной» форме опустынивания, тем более, если в научной литературе периодически появляются предложения рассматривать «климатическое опустынивание» (Золотокрылин, 2003) или «биологическое опустынивание» (Гунин и др., 2015). Дополнительную остроту этой проблеме придает предложение включать в систему глобальных индикаторов состояния земель наравне с показателями земельного покрова и продуктивности земель, некоторые сугубо почвенные параметры, например, такие, как почвенный углерод (UNCCD ..., 2015).

Методы и объекты исследования

Главным методологическим подходом для данного исследования послужила высказанная нами ранее (Куст, Андреева, 2012) гипотеза о том, что, несмотря на разнообразие проявлений опустынивания в почвах в формах засоления, осолонцевания, эрозии, уплотнения и др., роль почв в явлении опустынивания теоретически можно свести к сохранению и регулированию доступной для растений влаги, что в конечном итоге определяет реализацию потенциала биопродуктивности. Иначе говоря, в определенных ситуациях, часто связанных с деградацией почв, создаются условия, несмотря на их разную генетическую природу, определяющие недостаток влаги в почвах: так называемую «почвенную» засушливость или «почвенную» аридность.

Эта гипотеза вытекает из идей, ранее высказывавшихся В.А. Ковдой с соавторами (Kovda et al., 1998) в отношении того, что не столько климатическая, сколько именно почвенная аридность и засуха определяют в конечном итоге характер растительности и биопродуктивности экосистем. Например, по утверждению В.А. Ковды, 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 (Ковда, 1977).

Близкие суждения и предложения были высказаны также Б.Г. Розановым и И.С. Зонном (1981):

«степень аридизации почв можно количественно устанавливать в конкретных показателях водно-физических свойств и водного режима».

Эту мысль можно продолжить, рассматривая такие почвенные явления как водная и ветровая эрозия, коркообразование, опесчанивание, карбонатизацию, внутрисочвенное соленакопление, загипсовывание, обесструктуривание, осолонцевание, уплотнение, снижение доли биологических процессов в почвообразовании и другие, в качестве процессов, прямо или косвенно снижающих количество почвенной влаги и/или степень ее доступности растениям. Механизмы действия этих процессов достаточно очевидны (табл. 1), однако с точки зрения возможности оценить опустынивание в конкретных терминах водно-физических свойств данный подход на практике пока не реализован, хотя существует большое количество публикаций, в которых показано направленное изменение почвенных свойств при опустынивании.

Главным методом в нашем 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 и др., 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» (Шеин, 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.

Таким образом, основная цель работы была поставлена как проверка предположения, что ОГХ почв может быть использована в качестве интегрального показателя опустынивания, отражающего доступность влаги растениям вне зависимости от причин и форм (типов) опустынивания.

Экспериментальные данные для построения ОГХ были получены методом равновесного центрифугирования (Смагин и др., 1998). В качестве ординаты на кривых ОГХ были использованы pF – единицы по Скофилду, рассчитываемые как десятичный логарифм модуля капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги, выраженного в сантиметрах водного столба (Воронин, 1984):

$$pF = \lg(P_{см.вд.ст}) \quad (1).$$

Объектами послужили образцы почв, отобранные на различных ключевых участках в Волгоградской и Астраханской областях, для которых степень опустынивания/деградации в местах отбора образцов устанавливалась на основании разработанных ранее параметров (Andreeva, Kust, 1998; Куст, 1999, Славко и др., 2014). Местоположение и краткое описание ключевых участков (КУ) представлены в тексте. Выбор объектов на КУ проводили таким образом, чтобы условия

Таблица 1. Краткая характеристика существующих представлений о причинах «почвенной засухи», вызываемой деградационными процессами в почвах. **Table 1.** Brief description of the general ideas about the reasons "of soil drought," caused by soil degradation processes.

Процесс	Механизм снижения доступности влаги растениям
<i>Водная эрозия</i>	Смыв верхнего структурного горизонта почв, обладающего высокой водоудерживающей способностью, приводит к выходу на поверхность слоев с меньшей водоудерживающей способностью, результатом чего становится повышенный расход влаги атмосферных осадков на боковой сток и/или проникновение по крупным трещинам в глубь грунтовой толщи, за пределы зоны распространения основных корней
<i>Ветровая эрозия (дефляция)</i>	Выдувание мелкозема из поверхностных структурных горизонтов почв и перенос на дальние расстояния лишает их наиболее ценных в отношении создания высокой водоудерживающей способности гранулометрических фракций ила и мелкой пыли, а также органических и органо-минеральных частиц. Часто приводит к опесчаниванию (см. ниже)
<i>Коркообразование</i>	Корка препятствует проникновению влаги в глубь почвы и созданию запасов влаги. Испарение с поверхности корки интенсивнее, чем из глубоких слоев почв
<i>Растрескивание поверхности</i>	При попадании в глубокие трещины влага минует корнеобитаемые горизонты, не насыщая их в засушливый период
<i>Опесчанивание</i>	Песчаные почвы обладают пониженной влагоудерживающей способностью и повышенной инфильтрацией по сравнению с суглинистыми и глинистыми, при опесчанивании корнеобитаемых горизонтов запасы влаги в них в связи с этим существенно снижаются
<i>Карбонатизация</i>	Карбонаты кальция, закупоривая почвенные поры и цементируя почвенную массу на определенной глубине, препятствуют тем самым проникновению влаги в глубь, и при наступлении засухи влага из надкарбонатных горизонтов быстро расходуется на испарение
<i>Засоление</i>	Засоление повышает осмотическое давление почвенного раствора и делает его влагу недоступной для всасывания растениями. Снижение дзета-потенциала почвенных коллоидов сопровождается снижением их гидратированности. Кроме того, некоторые соли физиологически токсичны
<i>Загипсовывание</i>	Гипс гигроскопичен, и активно связывает влагу, особенно при ее дефиците в период засухи. Кроме того, действие гипсовых пропиток зачастую близко действию карбонатизации
<i>Обесструктуривание</i>	Потеря «агрономически ценной» почвенной структуры связано со снижением активного порового пространства, служащего для хранения почвенной влаги
<i>Уплотнение</i>	Уплотнение может быть результатом обесструктуривания (см выше), а кроме того, образование уплотненных «экранов» разного генезиса внутри почвы препятствует как поступлению избытка влаги в глубь почвы и созданию запасов на случай засухи, а, следовательно, перерасходу воды на испарение, так и наоборот – препятствует поступлению влаги из глубоких слоев в корнеобитаемые горизонты в случае быстрого повышения температуры поверхности и скорости ветра
<i>Осолонцевание</i>	Совокупность эффектов растрескивания, уплотнения и обесструктуривания, иногда сопровождаемых эффектом токсичности ионов натрия в составе почвенных растворов
<i>Снижение биологической активности</i>	Способствует косвенно деградации почвенной структуры (см обесструктуривание) в результате снижения биологического рыхления и структурирования почвенной массы, уменьшения органических полимеров-влагоабсорбентов

почвообразования, потенциально оказывающие влияние на водоудерживающую способность почв, были близки для всех объектов, за исключением рассматриваемого условия, по которому прослеживается определенный градиент значений. Так, например, объекты участка «Засоление» близки по всему набору параметров, кроме засоления. Объекты для оценки степени «опесчанивания» выбирались в пределах одного почвенного контура светло-каштановой солонцеватой среднетощей почвы, и т.п. Поскольку в рамках одной статьи трудно привести результаты всех исследований, то для демонстрации различий ОГХ были выбраны наиболее типичные примеры по каждой паре сравниваемых объектов. Характеристика исследованных объектов представлена в таблице 2.

Таблица 2. Некоторые характеристические свойства исследованных почв. **Table 2.** Some characteristic properties of studied soils.

Диагностические показатели	Коды некоторых почвенных разрезов, используемых для сравнения					
	Koch_1	Bul_3	Pri 1_1_1	Pri 1_2	Pri 1_3	Pri 1_4
Название почвы	каштановая остаточносолонцеватая среднетощая легкосуглинистая	темнокаштановая слабосолонцеватая мощная среднесуглинистая	светлокаштановая солонцеватая среднетощая среднесуглинистая	светлокаштановая солонцеватая среднетощая легкосуглинистая	светлокаштановая солонцеватая маломощная легкосуглинистая	светлокаштановая солончаковатая солонцеватая маломощная легкосуглинистая
<i>Показатели биопродуктивности</i>						
NDVI	0.29	0.307	0.15	0.13	0.03	0.01
Проективное покрытие, %	45	80	60	60	20	5
<i>Морфологические показатели</i>						
Признаки засоления и глубина появления новообразований	нет	нет	нет	нет	Нет	30 см и ниже, в форме прожилок и белых пятен (кристаллы солей)
Признаки осолонцевания	обильные ГГК по ГСО в горизонте В, плотное сложение горизонта В	редкие ГГК по ГСО в горизонте В1	ореховато-призматическая структура горизонта В1, ГГК по ГСО в гор. В1	нет	нет	глыбисто-ореховатая структура горизонта В, ГГК по ГСО
Гранулометрический состав горизонта А	легкий суглинок	средний суглинок	легкая глина	суглинок тяжелый	суглинок средний	суглинок тяжелый
Гранулометрический состав горизонта В	средний суглинок	средний суглинок	суглинок тяжелый	суглинок тяжелый	суглинок средний	суглинок тяжелый
Сложение, горизонт А	уплотненное	рыхлое	уплотненное	уплотненное	рыхлое	плотное
Структура гумусового горизонта	глыбисто-комковатопорошистая	зернисто-комковатая (бусы по корням)	зернисто-комковатопорошистая	глыбисто-комковатопорошистая	комковатопорошистая	глыбисто-комковатопорошистая

Продолжение таблицы 2. Некоторые характеристические свойства исследованных почв. **Extension Table 2.** Some characteristic properties of studied soils.

Структура горизонта, имеющего признаки осолонцевания	мелко-призмочувидная-крупно-ореховатая	ореховато-комковатая	ореховато-призмочувидная	-	-	глыбисто-ореховато-порошистая
Граница вскипания от 10% HCL, см	35	65	с поверхности	с поверхности	с поверхности	с поверхности
<i>Физико-химические показатели</i>						
ЕС (горизонт А), $\mu\text{Sm}/\text{sm}$	48	193	107	580	350	348
ЕС (горизонт В), $\mu\text{Sm}/\text{sm}$	99	120	800	112	125	4000
pH (горизонт А)	7.38	7.61	9.35	8.6	8.22	9.39
pH (горизонт В)	8.9	8.77	9.61	8.65	9.1	8.37
pNa	3.64	3.75	2.41	3.8	3.47	2.56
Содержание углерода в гумусовом горизонте, %	1.31	3.8	0.94	0.69	0.30	1.85
Водопрочность агрегатов по Андрианову (горизонт А)	30.5	99.75	76.75	59.75	12.25	28

Результаты и обсуждение

Оценка различий ОГХ почв при засолении. Для оценки различий ОГХ при засолении был выбран ключевой участок PRI, в 3х километрах на юго-запад от озера Эльтон (Палласовский район, Волгоградская область). Расположенные на нем почвы разрезов и Pгi 1_4 представляют залежь, в настоящее время находящуюся под выпасом. Pгi 1_4 по ряду показателей (электропроводность, морфологические признаки) отнесен к солончаковым почвам (табл. 2), в отличие от незасоленной Pгi 1_1_1. Другие особенности, в частности гранулометрический состав выбранной пары объектов – горизонтов В исследуемых почв - оказываются очень близкими (рис. 1), что позволяет сравнивать их по отношению к засолению и оценить вклад засоления почвенного раствора в поведение кривой ОГХ.

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 (С) раствора и квадрата заряда (валентности) ионов (z; Смагин, 2003):

$$\lambda \sim \frac{1}{\sqrt{Cz^2}} \quad (2).$$

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.

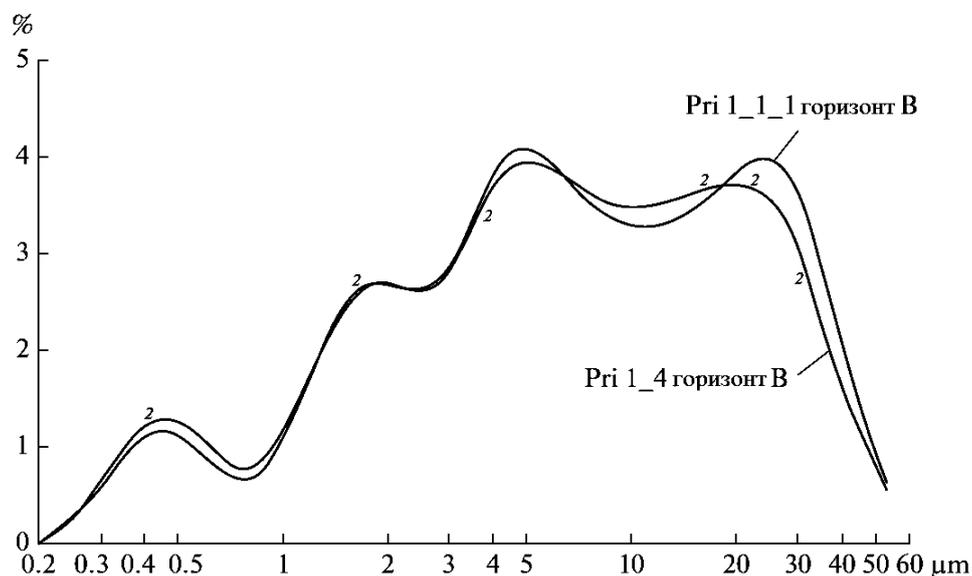


Рис. 1. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам (почвенные разрезы Pri 1_1_1 и Pri 1_4, горизонты B). **Fig. 1.** Soil particles' size differential curves (soil profiles Pri 1_1_1 and Pri 1_4, B horizons).

Анализируя полученные экспериментальные данные, можно убедиться, что расположение кривой ОГХ горизонта B почвы Pri 1_4 левее (рис. 2), чем кривая ОГХ горизонта B почвы Pri 1_1. Поскольку гранулометрический состав обоих горизонтов – тяжелосуглинистый, согласно описанному выше физическому механизму, увеличение концентрации легкорастворимых солей в 5 раз ($4000 \mu\text{Sm}/\text{sm} / 800 \mu\text{Sm}/\text{sm}$) 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 рисунку 2, не превышает 2 кратного значения. Доступность влаги при этом формально увеличивается. Так для влажности 50% равновесные значения pF 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: $4000 \mu\text{Sm}/\text{sm}=4 \text{ dSm}/\text{m}$, градация начала слабого засоления, что для нетолерантных по такому фактору видов растений (бобовые, зонтичные, луковичные, плодовые деревья) может приводить к снижению продуктивности от 50% и выше, вплоть до гибели (Смагин и др., 2006, Смагин, 2012).

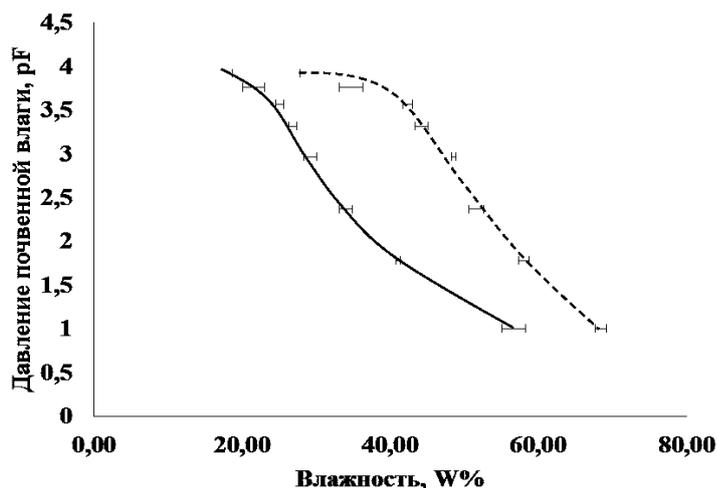


Рис. 2. Кривые ОГХ горизонтов В почв Pri 1_1 и Pri 1_4. *Legend:* - - - данные; — — Pri 1_4 гор-т В (30-35).
Fig. 2. The water retention curves for B horizons (soil profiles Pri 1_1 и Pri 1_4).

Оценка различий ОГХ при осолонцевании. Для оценки изменений ОГХ при осолонцевании сравнивались объекты ключевых участков Koch и Bul. Выбор участков (Koch расположен в 6 километрах на восток от поселка Лиманный, Волгоградской области, Bul – 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. На равнинах формируются каштановые и темно-каштановые почвы, склоны, как правило, заняты их солонцеватыми родами, тогда как понижения представлены лугово-каштановыми осолоделыми почвами. Существенное отличие участков Koch и Bul состоит в том, что на последнем морфологическая солонцеватость почв для аналогичных геоморфологических позиций проявляется в целом для участка в значительно меньшей степени (несмотря на в целом более тяжелый гранулометрический состав; рис. 3), почвы участка Bul также отличаются повышенной гумусированностью, а поверхность – большим проективным покрытием. Перечисленные отличия мы связываем с давним (с 1988 г.) пребыванием участка Bul в залежи с использованием под сенокосы (что хорошо диагностируется по ретроспективному анализу космических снимков), тогда как участок Koch находился в интенсивном пахотном земледелии до 2005 года, и в настоящее время активно используется под выпас.

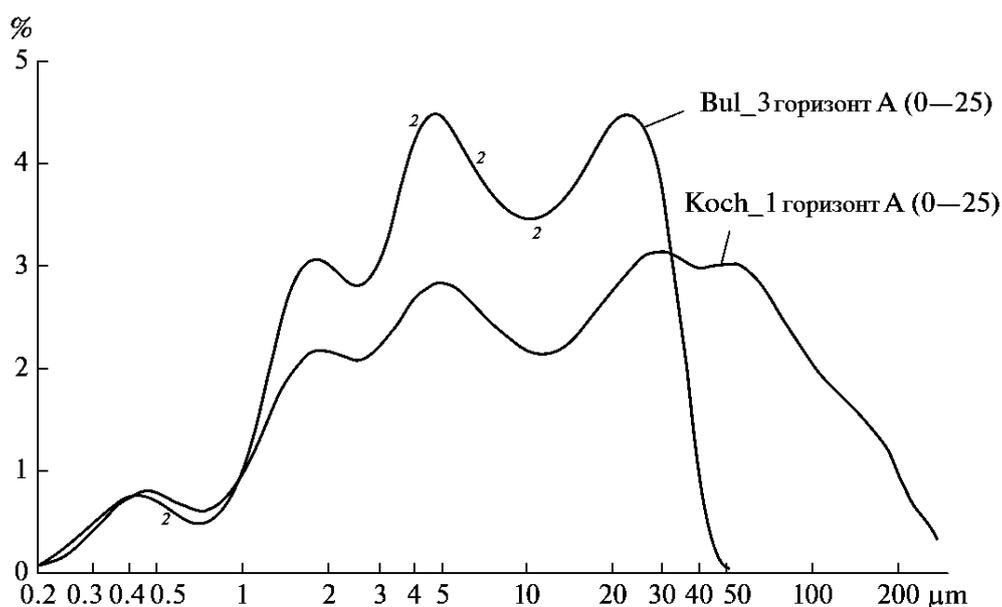


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам (почвенные разрезы Koch_1 и Bul_3, гумусовые горизонты). **Fig. 3.** Soil particles' size differential curves (soil profiles Koch_1 и Bul_3, humus horizons).

Несмотря на то, что современный процесс осолонцевания слабо затрагивает сравниваемые почвенные разрезы Koch_1 и Vul_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. Например, показатель водопрочности агрегатов по Андрианову для гумусового горизонта почвы Vul_3 с качественной зернисто-комковатой структурой и высоким содержанием гумуса равен 99.8%, тогда как для Koch_1 этот показатель составляет только 30.5.

Полученные результаты в целом подтверждают высказанную ранее (Смагин и др., 2004) мысль о том, что 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.

Сравнение ОГХ гумусовых горизонтов исследуемых почв (рис. 4) полностью подтверждает эти 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. Таким образом, ОГХ 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. 2).

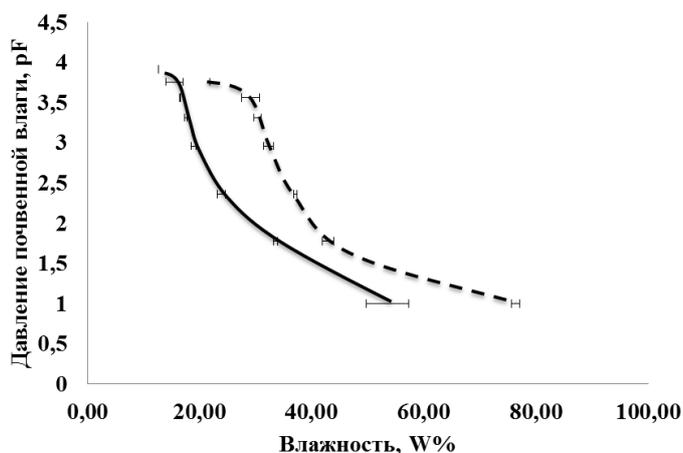


Рис. 4. Кривые ОГХ гумусовых горизонтов почв Koch_1 и Vul_3. Условные обозначения: - - - данные; — — Koch_1 гор-т А (1.5-25). **Fig. 4.** The water retention curves for humus horizons (soil profiles Koch_1 и Vul_3). Legend: - - - data; — — Koch_1 horizon A (1.5-25).

Оценка различий ОГХ при опесчанивании. Для исследования различий при опесчанивании на ключевом участке Pri была заложена трансекта протяженностью 6 км с разрезами, находящимися на разной удаленности от загона для скота (кошары). Такие ситуации хорошо диагностируются на космических снимках (рис. 5), а описания различий почв участков, подверженных пастбищной дигрессии, особенно в связи с удаленностью от мест водопоя или загонных, хорошо представлены в научной литературе (Добровольский и др., 1991; Можарова, Федоров Н.В., 1990; Huang et al., 2007).

Из данных, приведенных в таблице 2 видно, что по мере приближения к кошаре проективное покрытие снижается в 12 раз (!), что подтверждается уменьшением вегетационного индекса (в 15 раз!). Аналогичные тенденции (при исключении точки Pri 1_4, где сказывается влияние экскрементов скота) наблюдаются и в содержании углерода, которое в ряду почв Pri 1_1 – Pri 1_2 – Pri 1_3 снижается на треть.

Опесчанивание почв в ряду Pri 1_1 – Pri 1_2 – Pri 1_3 проявляется в следующем:

1) гранулометрический состав гумусового горизонта исследуемых почв облегчается (глина легкая – суглинок тяжелый – суглинок средний);

- 2) сложение гумусового горизонта меняется с уплотненного на рыхлое;
- 3) водопрочность агрегатов по Андрианову в гумусовых горизонтах снижается в 6 раз;
- 4) морфологические признаки качества структуры указывают на ее снижение.

Прямое подтверждение опесчанивания показывает анализ дифференциальных кривых гранулометрического состава: по направлению к загону для скота в гумусовых горизонтах резко снижается содержание пылеватых частиц и возрастает содержание песчаных (рис. 6).

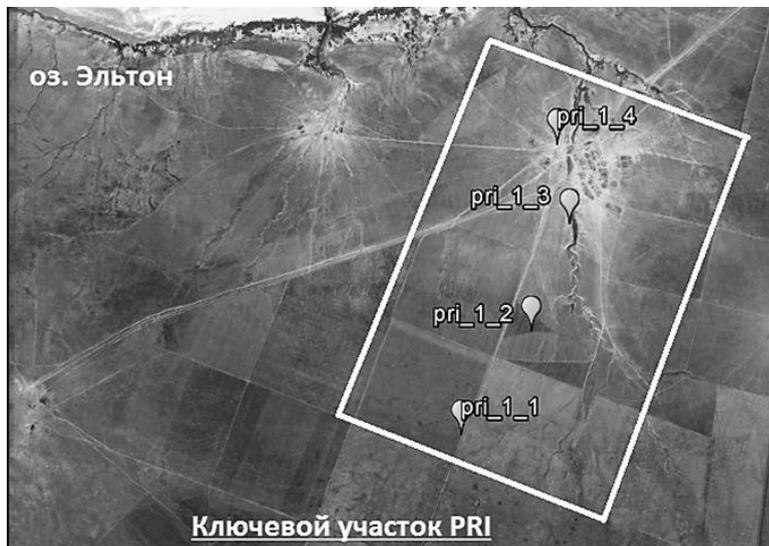


Рис. 5. Ключевой участок Pri (снимок Spot. Дата съемки 01.10.2012. Источник Google Earth). Несмотря на хорошо читаемую «сетку» полей, участок представляет собой залежь 12-летней давности.

Fig. 5. The PRI field site (satellite image "Spot". Date 01.10.2012. Source: Google Earth). Despite the well-read "grid" of fields this is a 12-year-old fallow land.

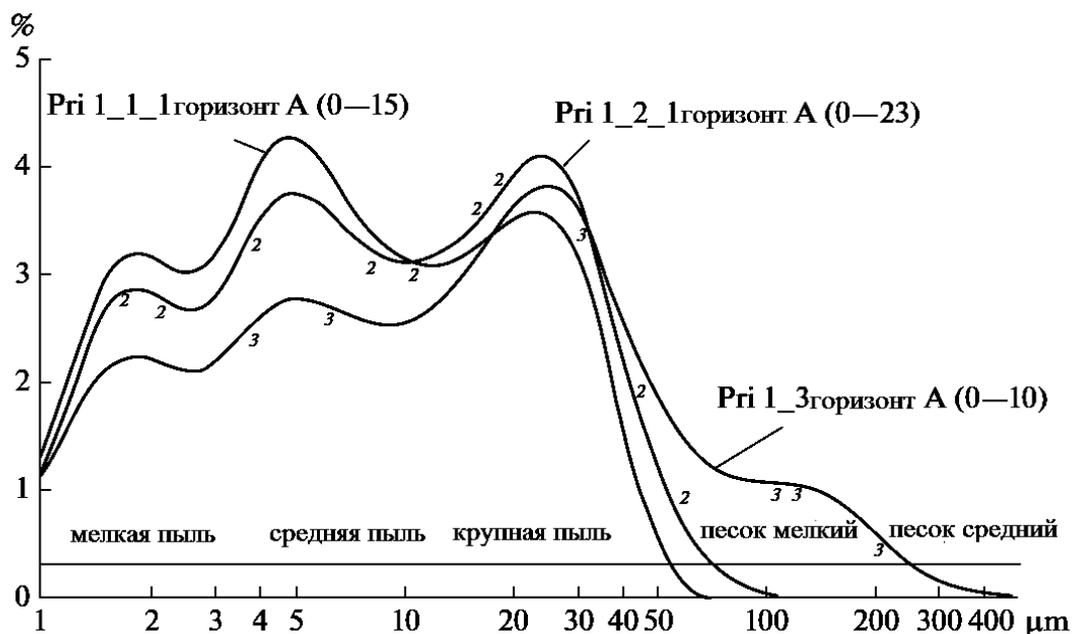


Рис. 6. Дифференциальные кривые распределения частиц по размерам гумусовых горизонтов ряда почв Pri 1_1, Pri 1_2, Pri 1_3. **Fig. 6.** Soil particles' size differential curves (soil profiles Pri 1_1, Pri 1_2, Pri 1_3, humus horizons).

Сравнение кривых ОГХ (рис. 7) полностью подтверждает полученные результаты: по мере усиления опесчанивания происходит смещение кривой влево, что указывает на снижение водоудерживающей способности гумусовых горизонтов. Это значит, что влага осадков будет в меньшей степени задерживаться в корнеобитаемом слое по мере нарастания опесчанивания в рассматриваемом ряду (трансекте).

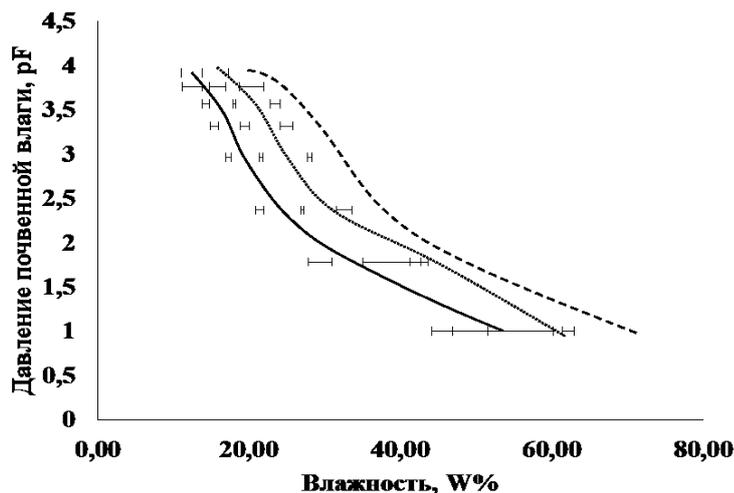


Рис. 7. Кривые ОГХ гумусовых горизонтов ряда почв Pri 1_1, Pri 1_2, Pri 1_3. **Fig. 7.** The water retention curves for humus horizons (soil profiles Pri 1_1, Pri 1_2, Pri 1_3).

Так различия в 10% влажности, сохраняющиеся между крайними ветвями ОГХ (Pri 1_1– Pri 1_3) на протяжении практически всего диапазона измеряемых величин означают при характерной мощности горизонтов в 20 см и плотности 1.3-1.5 г/см³ потерю водоудерживания в 260-300 т/га влаги или 26-30 мм осадков, при том, что суточные нормы осадков здесь редко превышают 5-10 мм. В условиях дефицита влаги это может быть решающим фактором продуктивности, а, следовательно, и опустынивания территории.

Заключение

На основании рассмотрения таких проявлений опустынивания как засоление, осолонцевание, опесчанивание 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 изменчивостью, тем самым затрудняющей диагностику степени опустынивания.

В связи со сказанным можно сделать вывод, что применение термина «опустынивание» в отношении почв возможно, и его физический смысл заключается в том, что различные деградационные процессы в почвах интегрально приводят к снижению доступности почвенной влаги растениям, что можно диагностировать по кривым ОГХ почв. Это позволяет интегрировать в рамках единого подхода диагностики опустынивания используемые по отдельности диагностические признаки засоления, осолонцевания, эрозии, опесчанивания и других деградационных процессов в почвах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бананова В.А. 1986. Методические указания по изучению процессов опустынивания аридных территорий АССР. Элиста: КГУ. 35 с.
Воронин А.Д. 1984. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во МГУ. 204 с.

- Гунин П.Д., Бажга С.Н., Данжалова Е.В., Цэрэнханд Г., Дробышев Ю.И., Ариунболд Э. 2010. Современная структура и динамика растительных сообществ на южной границе сухих степей Центральной Монголии // Аридные экосистемы. Т. 16. № 2. С. 65-75.
- Гунин П.Д., Бажга С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Казанцева Т.И., Цэрэнханд Г. 2014. Инвазионные сукцессии как индикатор опустынивания экосистем сухих степей Монголии // Опустынивание Центральной Азии: оценка, прогноз, управление. Материалы I Международной конференции. Астана: РК. С. 185-193.
- Гунин П.Д., Бажга С.Н., Данжалова Е.В., Дробышев Ю.И., Иванов Л.А., Иванова Л.А., Казанцева Т.И., Мигалина С.В., Микляева И.М., Ронжина Д.А., Ариунболд Э., Хадбаатар С., Цоож Ш., Цэрэнханд Г. 2015. Региональные особенности процессов опустынивания экосистем на границе бассейна Байкала и Центральноазиатского бессточного бассейна // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 5-22.
- Добровольский Г.В., Федоров К.Н., Стасюк Н.В., Можарова Н.В., Быкова Е.П. 1991. Типизация структур почвенного покрова равнинного Дагестана и его антропогенная устойчивость // Почвоведение. № 3. С. 5-13.
- Золотокрылин А. Н. 2003. Климатическое опустынивание. М.: Наука. 245 с.
- Ковда В.А. 1977. Аридизация суши и борьба с засухой. М.: Наука. 272 с.
- Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке. Текст Конвенции с приложениями. 1996. Женева: КБООН. 78 с.
- Куст Г.С. 1999. Опустынивание: принципы эколого-генетической оценки и картографирования. М.: Изд-во Московского университета. 362 с.
- Куст Г.С., Андреева О.В. 2012. Проблема опустынивания и почвы // Почвы в биосфере и жизни человека. М: ФГБОУ ВПО МГУЛ. С. 70-117.
- Куст Г.С., Глазовский Н.Ф., Андреева О.В., Шевченко Б.П., Добрынин Д.В. 2002. Опустынивание, засухи и деградация почв // Деградация и охрана почв. М.: Изд-во Московского университета. С. 551-600.
- Куст Г.С., Розов С.Ю., Кутузова Н.Д., Большеева Т.Н., Стома Г.В., Макаров И.Б., Цейц М.А., Девин Б.А., Андреева О.В., Марчук Е.В. 2008. Почвенно-экологические и агротехнологические особенности выращивания сои на черноземах в Краснодарском крае // Доклады по экологическому почвоведению. Электронный журнал Москва. Вып. 9. № 2. 527 с.
- Можарова Н.В., Федоров К.Н. 1990. Эволюция почвенных мезоструктур аккумулятивно-морской равнины Терско-Кумской низменности // Биологические науки. № 2. С. 15-20.
- Розанов Б.Г., Зонн И.С. 1981. План действий по борьбе с опустыниванием в СССР: оценка, мониторинг, предупреждение и борьба с ним // Проблемы освоения пустынь. № 6. С. 22-31.
- Славко В.Д., Куст Г.С., Розов С.Ю., Андреева О.В., Кегиян М.Г. 2014. Опыт тестирования и адаптации метода LADA в России для оценки и картографирования деградации земель в засушливых регионах на локальном уровне // Аридные экосистемы. Т. 20. № 4 (61). С. 44-56.
- Смагин А.В. 2003. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. №3. С. 328-341.
- Смагин А.В. 2012. Теория и практика конструирования почв М.: Изд-во Московского университета. 544 с.
- Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Глаголев М.В., Кириченко А.В. 2006. Новые инструментальные методы и портативные электронные средства контроля экологического состояния почв и сопредельных сред // Экологический вестник Северного Кавказа. Т. 2. № 1. С. 5-16.
- Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мизури Маауиа Бен-Али. 1998. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. № 11. С. 1362-1370.
- Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Назарова Т.В., Кирюшова А.Б., Машика А.В., Еремина А.М. 2004. Влияние органического вещества на водоудерживающую способность почв // Почвоведение. № 3. С. 312-321.
- Харин Н.Г., Орловский Н.С., Бабаева Т.А. 1987. Пояснительная записка к карте антропогенного опустынивания аридных территорий СССР. Ашхабад: Ылым. 32 с.
- Харин Н.Г., Бабаев А.М., Курбанмурдов К. 1992. Методические указания по изучению процессов опустынивания аридных территорий (на примере Монголии). Ашхабад: Ылым. 80 с.
- Черепанов А. С. 2011. Вегетационные индексы // Геоматика. № 2. 201 с.
- Шеин Е. В. 2005. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ. 432 с.
- Andreeva O.V., Kust G.S. 1998. Application of Desertification Assessment Methodology for Soil Degradation Mapping in the Kalmyk Republic of the Russian Federation // Desertification Control Bulletin. Vol. 32. P. 2-13.
- Huang D., Wang K., Wu W.L. 2007. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agropastoral transition zone in Northern China // Journal of Arid Environments. Vol. 70. № 1. P. 120-136.
- Kovda V.A., Kust G.S., Rozanov B.G. 1998. Aridity and Soil Salinization risks. World Map (1:80000000) // Resources and environment. World Atlas. Vienna-Moscow. P. 101-102.
- Kust G., Novikova N. 2006. Desertification and sabkhat formation in the Aral Sea region // Sabkha Ecosystems. Vol. II: West and Central Asia. Springer: Netherlands. P. 53-70.

UNCCD. United Nations Convention to Combat Desertification. Proposal for an indicator for Sustainable Development Goals target 15.3. Provision of metadata including annex with country example (updated 07 September 2015). <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Rio+20 / Land%20 degradation %20 neutrality%202015/UNCCD%20Metadata%20Target%2015.3.pdf>.

DIAGNOSTICS OF DESERTIFICATION WITH THE USE OF WATER RETENTION CURVE OF SOILS

© 2016. T.E. Shcherba*, G.S. Kust*, A.V. Smagin**, O.V. Andreeva*, V.D. Slavko*

**Soil Science Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University
Russia, 119991 Moscow, Leninskie Gory. E-mail: takhir.shcherba@yandex.ru, gkust@yandex.com*

***Institute of Forest Science RAS
Russia, 143030 Moscow region, P.O. Uspenskoe, ul. Sovetskaya, 21.*

Based on a study of processes developed upon desertification (salinization, solonetzization, and sand accumulation) in the soils of the Caspian Sea Lowland, it is shown that soil's water retention capacity may be used as an integral parameter of all desertification trends. It is characterized by the main hydrophysical parameter (MHP)—the water retention curve—of soils. The physical sense of the use of the MHP to characterize desertification consists in the fact that it shows the capability of soil to retain moisture and soil moisture mobility and availability for plants and thus characterizes the main edaphic factors, which limit biological productivity in natural ecosystems and the agroecosystems of arid regions. The soil MHP is a constant value without seasonal fluctuations, and this makes it universal in comparison with other soil parameters that undergo seasonal variations, thus making determination of the desertification rate difficult.

Keywords: desertification, main hydrophysical parameter of soils, diagnostics, moisture availability.