

## ДИГРЕССИЯ, ПАДЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ И ТЕХНОГЕННЫЕ НАГРУЗКИ КАК ФАКТОРЫ ОПУСТЫНИВАНИЯ ПОЧВ

В.И. САВИЧ<sup>1</sup>, А.К. САИДОВ<sup>2</sup>, Т.В. ШНЕЕ<sup>1</sup>, Ж. НОРОВСУРЭН<sup>3</sup>, РАМИ КАБА<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Кафедра почвоведения, геологии и ландшафтоведения, кафедра физической и коллоидной химии РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева; <sup>2</sup> Прикаспийский институт биологических ресурсов РАН; <sup>3</sup> Институт биологии АН Монголии)

**В работе показано, что опустынивание почв протекает под влиянием естественных и антропогенных факторов, способствующих изменению состояния, трансформации и миграции вещества, энергии и информации. Опустынивание обусловлено опусканием уровня грунтовых вод, проявлением аридизации, снижением устойчивости почв при смене гидроморфных условий на автоморфные, низким содержанием в почвах гумуса, азота и фосфора, уменьшением разнообразия горизонтов, гранулометрического состава, сорбционных центров, напочвенного покрова, уменьшением содержания и КПД использования энергии.**

**Ключевые слова:** плодородие почв, опустынивание, факторы почвообразования.

Развитие опустынивания представляет важную народнохозяйственную проблему. В значительной степени это относится и к району Кизлярских пастбищ Дагестана. Несмотря на значительное количество работ, посвященных этому вопросу, неясными остаются особенности опустынивания отдельных районов, связанные со спецификой протекания в них естественных и антропогенных факторов почвообразования. Опустынивание почв данного региона обусловлено также такими социальными причинами, как переход населения из горных районов на равнинные и в связи с этим увеличением распашки территории, норм выпаса скота, дигрессией, увеличением антропогенно нарушенных и загрязненных нефтепродуктами почв, увеличением количества несанкционированных временных дорог.

### Методика

Объектом исследования выбраны почвы Кизлярских пастбищ Дагестана, представленные светло-каштановыми и лугово-каштановыми почвами разной степени эродированности, засоленности и солонцеватости [7].

Задачей исследования было выяснение тренда изменения во времени климата, уровня грунтовых вод, рельефа, растительности, структуры почвенного покрова, свойств почв на основании статистической обработки литературных данных и результатов собственных исследований за период с 1976 по 2008 гг., а также определение особенностей проявления опустынивания при проведении углубленных исследований почв, постановке модельных опытов. Все данные обработаны методами вариационной статистики. Принятый уровень вероятности  $p = 0,95$ .

## Результаты и их обсуждение

Важным фактором опустынивания является степень аридизации климата и тренд изменения этого показателя во времени. С нашей точки зрения, для оценки влияния климатических условий на опустынивание важно учитывать не только степень аридизации за год, а также в отдельные критические для растений периоды (апрель, май, июнь, июль). Если растения в этот период погибают, то и при наступлении в дальнейшем оптимальных условий восстановление растительного покрова в прежнем составе маловероятно.

Аналогично существуют и критические фазы развития почв, менее устойчивые к условиям аридизации и возникновению опустынивания (стадии менее гидроморфных почв, периоды сезонного засоления и опускания уровня грунтовых вод и т.д.). По полученным нами данным, информативным показателем оказалось отношение  $(t^\circ/W_{\text{мм}}) \cdot t$  дн., где  $t^\circ$  — температура воздуха,  $W$  мм — количество осадков,  $t$  дн. — число дней за этот период со скоростью ветра более 11 м/с. Так, в 1881–1966 гг. и в 1975–2003 гг. этот показатель был соответственно равен в мае 1,8 и 2,2; в июне — 1,3 и 1,4; в июле — 0,7 и 2,3, что соответствует усилению степени аридизации климата за оцениваемый период.

Как видно из представленных данных, предлагаемый условный показатель в последние годы значительно выше, чем до 1960 г.

Важным фактором опустынивания на данной территории является уровень грунтовых вод и их состав, тренд изменения этих показателей во времени. По полученным данным, опустынивание территории данного региона обусловлено как опусканием уровня грунтовых вод, так и их вторичным засолением. Таким образом, уровень грунтовых вод и их состав следует рассматривать для данных условий как фактор почвообразования. В связи с увеличением отбора грунтовых вод для хозяйственных нужд за последние десятилетия произошло существенное снижение их уровня. Это привело к оседанию дневной поверхности до 50–60 см [8]. В то же время сброс засоленных оросительных вод вызвал на некоторых территориях в депрессиях и в приморской части увеличение степени их минерализации до 40 г/л, что привело к засолению почв и их опустыниванию [4].

Показано, что под воздействием многолетней эксплуатации подземных вод плиоцен-четвертичных отложений Северо-Дагестанского артезианского бассейна естественная гидродинамическая картина подземного стока претерпела настолько большие изменения, что они стали соизмеримы по масштабам с природными процессами. Большая депрессионная воронка, постепенно углубляясь, захватывает всю территорию Терско-Кумского междуречья, меняя направление движения подземных вод, характер и способы их разгрузки, сток в Каспий [8].

Следствием развития региональной депрессии в напорных водоносных горизонтах плиоцен-четвертичных отложений в результате столетнего периода эксплуатации Северо-Дагестанского артезианского бассейна может стать повсеместное снижение уровня грунтовых вод и опустынивание территорий Северного Дагестана.

В значительной степени опустынивание связано с эволюцией растительного покрова, которая происходит в 4-й стадии в автоморфных позициях от гидроморфной с преобладанием тростника, пырея, бобовых до автоморфной — с преобладанием полыней, прутняка. В гидроморфных ландшафтах от полыней и солянок, кермека до солянковых фитоценозов [4]. Во 2-й и 3-й стадиях эволюции во влажные годы обильны всходы эфемеров [4]. При этом биопродуктивность меняется от 16,0

до 4,9–5,0 ц/га. Уменьшение проективного покрытия травостоем, а также корневого и надземного опада привело к усилению засоления почв и их деградации.

Смена растительных ассоциаций обусловлена аридизацией климата, но одновременно и меньшее поступление при этом растительных остатков в почву приводит к ухудшению гумусированности и структуры, уменьшению устойчивости почв, к дефляции и опустыниванию.

В значительной степени опустынивание обусловлено эволюцией почвенного покрова. Для исследуемого региона в процессе эволюции почвенного покрова происходил переход гидроморфных почв в автоморфные, луговых — в лугово-каштановые и в дальнейшем в светло-каштановые реликтовые гидроморфные почвы, болотных — в лугово-болотные и в дальнейшем — в солончаки и солонцы [4]. Такой переход является одной из причин опустынивания почв.

Специфической особенностью почвенного покрова изучаемого региона является большая контрастность в структуре почвенного покрова. Это способствует локальному возникновению очагов опустынивания при дальнейшем увеличении их площади. По полученным данным, в районе Кизлярских пастбищ в связи с развитием дефляции произошло облегчение гранулометрического состава верхнего горизонта почв, ухудшение оструктуренности, что является как следствием, так и причиной дальнейшего опустынивания.

Опустынивание почв связано с уменьшением разнообразия структуры почвенного покрова, растительности, микробиологической активности, а также различий между горизонтами, степени разнообразия гранулометрического состава, цветовой гаммы почв, разнообразия сорбционных центров и экологических ниш почв. Это приводит и к уменьшению разнообразия фракционного состава соединений ионов в почве. Подобные изменения обусловлены уменьшением при опустынивании степени гумусированности почв и содержания в почвах илистой фракции в связи с развитием ветровой эрозии. Как и всякая деградация, опустынивание приводит к упрощению взаимосвязей между свойствами почв, к повышению роли в эволюции почв внешних связей над внутренними.

В то же время с увеличением аридизации увеличивается разнообразие видов растительности и биоты, приспособленных к экстремальным условиям температуры и увлажнения. Очевидно, это будет относиться к сорбционным центрам и экологическим нишам, характерным для резко аридных условий.

Проведенные исследования микробиологической активности почв разной степени опустынивания показали, что в связи со снижением содержания гумуса уменьшается количество микроорганизмов в почве (от 550 тыс./г в каштановой почве до 244 тыс./г — в бурой полупустынной почве). При этом наиболее резко уменьшается количество сапрофитных микроорганизмов: от 239 до 87 тыс./г — флуоресцирующих; от 61 до 10 — желтых пигментов; от 6,3 до 1,6 — спорообразующих. Спорообразующие микроорганизмы уменьшаются от 8900 до 1800 кл./г, содержание микроскопических грибов — от 3500 до 2000 кл./г. Однако число бактерий, развивающихся на крахмало-аммиачном агаре, при этом возрастало от 43 до 51 тыс./г.

В то же время, по нашим данным, в почвах более сухих районов увеличивается численность актиномицетов редких видов. В почвах пустынных экосистем постоянно обнаруживаются представители родов *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Saccharopolyspora*, *Saccharomonospora*, *Actinomadura*, *Microtetraspora*, *Thermomonospora*, *Streptosporangium*, *Dactylosporangium*, *Nocardia*, *Nocardiosis*, *Nocardioidea*, причем доминируют только стрептомицеты, остальные роды являются редко встречающимися формами.

По полученным данным, для пустынных ландшафтов характерно присутствие во всех субстратах окрашенных форм актиномицетов. С нашей точки зрения, биосинтез пигментов в сочетании с известной устойчивостью можно рассматривать как адаптационные приспособления к обитанию при аридизации территории, в частности, к высокому уровню инсоляции.

При опустынивании уменьшилось разнообразие горизонтов и сорбционных центров в почвенном профиле, а также фракционного состава соединений ионов в почве. Построение кумулятивных кривых гранулометрического состава почв показало значительно больший наклон кривых для почв, подвергающихся опустыниванию по сравнению с луговыми почвами, что соответствует меньшей степени разнообразия гранулометрических фракций в опустыненных почвах. Это обусловлено уменьшением в опустыненных почвах илистой фракции.

По полученным данным, опустынивание почв приводит к уменьшению разнообразия свойств почв в структуре почвенного покрова в пределах почвенного профиля. В пределах стационарных площадок коэффициент варьирования гумуса в слое 0–20 см составил для светло-каштановой почвы целины 7,5%, для пашни — 18,2%, в то время как в лугово-каштановой почве он был соответственно 3,4 и 12%. Варьирование содержания подвижного фосфора составляло в целинной светло-каштановой почве 17,9%; в лугово-каштановой — 15,0; в пахотной светло-каштановой — 15,8, в лугово-каштановой — 16%.

Опустынивание сопровождается изменением и уменьшением разнообразия цветовой гаммы почвы, происходит осветление почв. Это подтверждается как анализом отдельных образцов, монолитов, так и космических и аэрофотоснимков.

Т а б л и ц а 1

**Цветовая гамма светло-каштановых почв** (отражение в разных длинах волн).  
Zoom 100%, 300 dpi, TIFF, пипетка из 5 пикселей

Горизонт	Цветовая характеристика в системах CMYK и RGB						
	C	M	Y	K	R	G	B
A <sub>1</sub>	39,0±0,7	54,0±0,4	76,3±0,7	21,0±1,3	140±3,1	105±2,0	70,3±2,0
BC	42,1±0,7	51,0±0,6	72,5±0,9	20,3±0,8	134±2,1	108±1,5	76,8±1,9

П р и м е ч а н и е. Стандарт Kodak — серая точка — 152,3; черная — 2,3; белая — 255,0.

Как видно из представленных в таблице 1 данных, цветовая гамма исследуемых почв, оцениваемая методом компьютерной диагностики [6], объективно отражает цвет почв (Red — красный, Green — зеленый, Blue — голубой, Magenta — пурпурный, Yellow — желтый, Cyan — синий, K — черный). Верхний горизонт по сравнению с породой характеризуется несколько большей величиной красного и желтого цветов.

Т а б л и ц а 2

**Цветовая гамма светло-каштановых почв в системе Lab, A<sub>1</sub>**

Цветовая система	Повторность				
	1	2	3	4	X ср.
L	61	69	67	69	66,5
a	11	12	13	12	12,0
b	28	31	29	31	29,75

В цветовой системе Lab горизонты Ап и BC характеризовались следующими показателями: L в А и ВС соответственно 66,3 и 59,3; а — 4,7 и 2,3; b — 15,2 и 16,7, т.е. Ап также отличается большей краснотой а, большей светлотой L (табл. 2).

Наклон кривых отражательной способности почв в диапазоне 380–730 нм составлял для горизонтов 0–10; 10–20; 25–35 и 55–65 см соответственно 0,23; 0,23; 0,46; 0,57, т.е. верхние гумусированные горизонты по сравнению с нижележащими имели меньший угол наклона, что соответствует большему разнообразию цветовой гаммы.

Анализ цветовой гаммы по профилю светло-каштановых и бурых полупустынных почв показал, что степень разнообразия цветовой гаммы в бурых полупустынных почвах меньше, чем в светло-каштановых, что соответствует большей степени опустынивания бурых почв.

С нашей точки зрения, по кривым отражательной способности не только можно определить генетический тип почв, но и оценить степень деградации почв. При опустынивании в почве уменьшается количество гумуса, повышается засоленность, что сопровождается увеличением светлоты L и уменьшением черноты K. Чаще происходит и ухудшение оструктуренности почв, увеличение их сухости. Это также приводит к увеличению светлоты и уменьшению черноты K.

Полезную информацию несет и соотношение отдельных цветов. Так, по полученным данным, отношение а/в в Ап и ВС составляло соответственно 0,30 и 0,14; соотношение R/G — 1,3 и 1,21; соотношение M:Y — 6,71 и 0,70, что соответствует большей доле красноцветности в верхнем слое почвы по сравнению с нижележащими горизонтами.

По нашему мнению авторов, для оценки степени опустынивания почв может быть использована величина светлоты L или интенсивности черного цвета K. Для верхнего горизонта и неопустыненной почвы L меньше и K больше. Однако каждая хромофорная группа, содержащаяся в почве, поглощает и отражает свет в разных длинах волн (более сильно в какой-то одной характеристической длине волны). При этом разные хромофорные группы поглощают и отражают свет в пределах одних диапазонов длин волн. В связи с этим для расшифровки свойств почв по цвету предпочтительнее использование закономерностей отражательной способности почв в разных длинах волн:

$$Y = K + k_1X_1 + k_2X_2 + k_3X_3 + \dots,$$

где k — коэффициент пропорциональности, X — отражение при определенной длине волны.

При этом поскольку поглощение света одной хромофорной группы при длине волны  $\lambda_1$  зависит от наличия в почве других хромофорных групп  $Y_1, Y_n$ , то  $Y_i = K \pm k_1Y_1 \pm k_2Y_2 \pm k_nY_n \pm k_{n+1}Y_nY_{n+1}$ , где  $\pm k_n, Y_nY_{n+1}$  — проявление эффектов синергизма и антагонизма при действии на поглощение света в области  $\lambda$  хромофорной группы Y, при наличии хромофорных групп  $Y_1, Y_2$  и т.д. Очевидно, что такая зависимость может быть не только линейная, но и степенная и других видов.

Как правило, изменение цветовой гаммы почв от развития почвенных и почвообразовательных процессов, свойств почв накладывается на цвет почвообразующей породы.

По полученным нами данным, развитие опустынивания вызвано и низким плодородием почв, обеднением почв элементами питания за последние десятилетия [1]. Это обусловлено как уменьшением внесения удобрений, так и усилением степени аридизации, загрязнения, засоления. Так, в реликтивно-луговых светло-каштановых почвах содержание гумуса составляет  $1,2 \pm 0,2\%$ , а при эволюции их в автоморфные —  $0,5 \pm 0,1\%$ ; Сгк/Сфк меняется от  $1,8 \pm 0,2$  до  $0,3 \pm 0,1$ , соответственно содержанию гумуса уменьшилось и содержание в почвах азота.

Данные о различии по плодородию менее устойчивых к опустыниванию светло-каштановых почв и более устойчивых лугово-каштановых приведены в таблицах 3, 4.

Т а б л и ц а 3

**Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия в светло-каштановых и лугово-каштановых почвах**

Глубина, см	Светло-каштановые почвы			Лугово-каштановые почвы		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
0–15	42,8±3,0	1,7±0,4	57,7±18,9	49,0±1,4	4,6±2,2	95,0±45,4
15–30	36,9±6,9	0,6±0,3	42,0±8,5	43,4±7,1	1,3±0,9	55,0±5,1

П р и м е ч а н и е. N — легкогидролизуемый азот, мг/кг, по Тюрину; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — мг/100 г, по Мачигину; K<sub>2</sub>O — мг/100 г, подвижные формы.

Т а б л и ц а 4

**Вводно-физические свойства светло-каштановых и лугово-каштановых почв**

Глубина, см	ОВ, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Аэрация, %	Влажность завядания, %	Влагоемкость, % к весу	W % к ПВ в поле
Светло-каштановая почва						
0–5	1,2	51,6	23,2	7,7	25,1	11,1
5–20	1,5±0,1	41,9±3,2	13,2±8,3	10,1±0,6	21,9±2,6	29,7±9,2
20–80	1,4±0,0	45,9±0,8	–	13,1±2,4	15,3	60,4
Лугово-каштановая почва						
0–20	1,3	48,1	23,0	3,8	19,7	50,8
20–80	1,3±0,1	48,5±3,3	28,3±4,9	4,2±0,3	16,0±1,8	26,1±2,3

Как видно из представленных в таблице 3 данных, содержание азота и фосфора в почвах низкое. При этом содержание фосфора резко убывает с глубиной, что является одной из причин деградации почв.

Водно-физические свойства почв свидетельствует о высокой плотности почв (до 1,6 г/см<sup>3</sup>) уже на глубине 5 см, низкой пористости (до 40%). При этом порозность аэрации достигала в отдельных случаях очень низких величин (до 5%) при оптимальном уровне 20%, что также способствует опустыниванию.

Как видно из представленных в таблице 4 данных, светло-каштановые почвы отличаются от лугово-каштановых значительной плотностью горизонтов (особенно слоя 5–20 см), большей влажностью завядания и меньшей влажностью в полевых условиях. Обращает на себя внимание большая плотность слоя 5–20 см светло-каштановых почв по сравнению со слоем 0–5 см; очень низкая в нем аэрация.

Обеднение почв элементами питания, с нашей точки зрения, является одной из причин опустынивания почв, так как приводит к меньшей биопродуктивности, что сопровождается уменьшением содержания гумуса, энергии в почвах, более слабым развитием корневой и надземной массы и в конечном итоге приводит к более интенсивному развитию эрозии и опустынивания. Тренд изменения свойств почв с 1970 по 2005 гг. показал, что увеличение доли площадей с низкой обеспеченностью фосфором и гумусом более достоверно описано параболической зависимостью. Так,

изменение содержания площадей с низким содержанием гумуса описано для пашни Ногайского района уравнением  $Y = 51,7 + 6,7t - 0,6 \cdot 2t^2$ ; для Тарумовского района —  $Y = 47,5 - 2,7t + 0,2 \cdot 2t^2$ . Изменение площадей с низким содержанием фосфатов для пашни Тарумовского района описано уравнением  $Y = 80,6 - 12,9t + 1,3 \cdot 2t^2$ .

Подобные зависимости обусловлены резким уменьшением доз удобрений в 1980–1990 гг., при некотором их увеличении в 2000–2008 гг. Так, площади с очень низким содержанием фосфатов составляли в Кизлярском районе в 1966 г. — 43%, в 1976 г. — 16,5, в 2005 г. — 31,8%.

При этом уменьшение доз фосфорных удобрений сопровождалось и уменьшением содержания подвижных фосфатов. Так, в 1986–1992 гг. среднее содержание подвижных фосфатов в светло-каштановой почве было 22,0 мг/кг; а в 2000–2004 гг. — 17,6 мг/кг. Применение  $P_2O_5$  на этой почве составило соответственно 24,3 и 0 кг д.в. на 1 га. Светло-каштановые почвы были менее устойчивы к деградации, чем луговые и лугово-каштановые. Уменьшение содержания подвижных фосфатов в зависимости от доз вносимых удобрений составило для светло-каштановой почвы 0,18, а для луговых почв — 0,12 мг/кг  $P_2O_5$  на 1 кг д. в.  $P_2O_5$ .

Значительное ухудшение отмечается в последние годы и для азотного состояния почв. Если в 1986–1992 гг. баланс азота составлял 15,2 кг/га, то в 1993–1999 гг. — минус 15,1, а в 2001–2004 гг. — минус 14,5.

Деградация почв приводит к нарушению естественных взаимосвязей в почвах, их упрощению, к большей зависимости свойств почв от внешних, а не внутренних факторов. По полученным нами данным, опустынивание почв сопровождается уменьшением степени оптимальности структурных взаимосвязей между свойствами почв. Математическая связь активной влаги при полной влагоемкости, в % (Y) от гигроскопической влаги, в % ( $X_1$ ), влажности завядания, в ( $X_2$ ), полной влагоемкости, в % ( $X_3$ ), коэффициента фильтрации  $K_{10}$  мм/мин ( $X_4$ ) описана следующим уравнением:

$$Y = 6,5 - 1,11X_1 + 0,21X_2 + 0,4X_3 - 0,03X_4; R = 0,77; F = 5,4.$$

Таким образом, величина активной влаги, определяющей устойчивость почв к опустыниванию, была прямо пропорциональна влажности завядания полной влагоемкости и обратно пропорциональна коэффициенту фильтрации. Парный нелинейный анализ подтвердил указанные связи и показал, что наиболее достоверны следующие зависимости:  $Y = A \cdot 10^{B/X_1}$ ,  $r = 0,57$ ;  $Y = A + B + X_2^n$ ,  $r = -0,62$ ;  $Y = A + BX_3$ ;  $r = 0,77$ ;  $Y = A + B/X_4$ ;  $r = 0,44$ .

При развитии опустынивания в связи с уменьшением количества в почвах гумуса и илистой фракции рассматриваемые взаимосвязи в значительной степени изменялись и упрощались, но становились более неустойчивыми.

Важным фактором опустынивания являются антропогенные процессы: дефляция, дигрессия, техногенное воздействие, вторичное засоление и осолонцевание [3, 5]. Опустынивание связано в значительной степени с изменением структуры земельных угодий. Если в 30-е годы XX в. доля сенокосов составляла 50% площади, а пастбищ — 44%, то в 2000 г. пастбища — 87%, а сенокосы — 3%. Доля орошаемой пашни возросла с 6 до 10%, аридизация территории — в 1,5–2 раза, распаханность земель — в 5 раз.

Существенное влияние на опустынивание оказало изменение экологических условий и социальной обстановки. С 1957 г. началось массовое переселение населения горных районов на равнину (и населения и скота). Отводятся новые земли для хозяйств, жилья, дорог. Увеличилось осушение лиманов и площади орошения. Все

это привело к увеличению степени аридизации, опусканию уровня грунтовых вод, к их засолению, к более интенсивному загрязнению и дефляции.

Увеличение населения в равнинных районах привело не только к усилению дигрессии пастбищ, но и к большему отбору грунтовых вод и, следовательно, к увеличению глубины залегания грунтовых вод. В то же время сброс использованных вод в депрессии привел в отдельных районах к поднятию к поверхности засоленных грунтовых вод. Оба эти процесса в конечном итоге способствовали уменьшению интенсивности развития дернового процесса почвообразования и к усилению опустынивания почв.

При антропогенном воздействии выше порога буферности по отдельным параметрам (степень распашки территории, уменьшение разнообразия, опускание уровня грунтовых вод, эрозия, засоление, осолонцевание) начинают развиваться самоускоряющиеся процессы деградации системы. При этом действие на систему внешних факторов определяется их интенсивностью, продолжительностью воздействия, градиентом, закономерным изменением указанных параметров во времени и в пространстве. Податливость почв деградации зависит от буферной емкости почв, фазы их развития, скорости протекающих процессов [6].

Одним из важных факторов опустынивания территории данного региона является увеличение степени дигрессии [2]. Так, сумма солей в светло-каштановых почвах для слоя 0–30 см составляла на участках без выпаса  $0,11 \pm 0,01\%$ ; при выпасе 3 овец —  $0,24 \pm 0,06$ , а при выпасе 4 овец —  $0,44 \pm 0,02\%$ . Зависимость плотности почв от пастбищной нагрузки выражалась уравнением:  $Y = 2,6909 - 0,027Z + 0,0017X$ , где  $Y$  — плотность почв в г/см<sup>3</sup>,  $X$  — пастбищная нагрузка овец на 1 га;  $Z$  — общая порозность в %.

В то же время, благодаря одногодичному отдыху от выпаса скота, выход корма удвоился с 2,8 до 5,4 ц/га; при 2-годовалом перерыве — с 2,8 до 9,7 ц/га сухой поедаемой массы.

С нашей точки зрения, опустынивание в данном регионе в значительной степени обусловлено градиентом изменения степени гидроморфизма территории, сменой гидроморфных условий аридными. Это приводит к нарушению равновесия за пределы буферности системы к развитию процессов деградации.

В проведенных нами исследованиях показано, что в солонцах в связи с усилением степени аридизации верхняя и периферическая часть столбчатых отдельных содержала значительно меньше илестой фракции, чем центральная. В верхней и периферической частях отдельных было меньше отношение углерода к азоту, меньше емкость поглощения почв.

Проведенные модельные опыты показали, что почва, ранее компостируемая в условиях избыточной влажности, по сравнению с почвой, компостируемой при оптимальной влажности, и сухой почвой существенно отличалась по прочности связи воды с почвой, состоянию органического вещества. Так, в светло-каштановой почве (горизонт Ап), компостируемой при избыточной влажности, а затем в аэробных условиях, по данным дериватографии, потери гумуса составили 2,2%, для образца, компостируемого при оптимальной влажности 1,1%, отношение ароматических и алифатических группировок было 0,61, а для образца, компостируемого при оптимальной влажности — 0,50.

Контрастные условия увлажнения привели к существенному увеличению оптической плотности вытяжки 0,1н. NaOH. При 440 нм оптическая плотность вытяжки 0,1н. NaOH (П:Р=1:5) составляла для светло-каштановой почвы, компостируемой при оптимальной влажности, — 1,10 и 0,47 для слоев 0–10 и 10–20 см, а для

образцов, компостированных при избыточной влажности — 1,20 и 0,75 соответственно.

Увеличение подвижности органического вещества в контрастных условиях увлажнения показали и инфракрасные спектры. Так, в варианте со сменой анаэробных условий компостирования на аэробные величина пропускания, обусловленная в области 3500–3300 см<sup>-1</sup>, составила 34,6±0,4; а для варианта оптимальной влажности — 51,8±0,4. В интервале длин волн 2920–2860 см<sup>-1</sup> соответственно 62,8±0,2 и 72,9±0,2; в интервале 1600–1650 см<sup>-1</sup> — 36,1±0,4 и 53,7±0,3; в интервалах 1700–1720 см<sup>-1</sup> — 48,6±0,5 и 61,7±0,2; в интервале 1000–1100 см<sup>-1</sup> в варианте со сменой анаэробных условий на аэробные величина пропускания составила 1,2±0,2, а в варианте с аэробными условиями — 16,0±0,2.

Контрастные условия увлажнения привели к увеличению прочности связи воды с почвой. Так, эндотермические пики образцов, компостированных при оптимальной влажности, относились к 78°, а для образцов, компостированных в контрастных условиях увлажнения, — к 98° и 320°. Светло-каштановые почвы по сравнению с лугово-каштановыми поглощали меньше воды и особенно верхний слой. При этом потеря воды за счет испарения происходила быстрее.

Влажность завядания (pF=4,2) была выше на автоморфных светло-каштановых почвах, по сравнению с лугово-каштановыми — выше в солонцевато-солончаковых почвах.

Уменьшение при опустынивании количества илистой фракции и степени гумусированности приводит к уменьшению разнообразия в почве сорбционных центров и экологических ниш. Проведенные исследования показали уменьшение при этом разнообразия фракционного состава соединений катионов кальция, магния, железа, марганца, цинка, определяемого методом конкурирующего комплексообразования.

### Заключение

Таким образом, опустынивание почв является функцией состояния неблагоприятных для биопродуктивности климатических и антропогенных факторов. При этом само опустынивание характеризуется совокупностью свойств, процессов и режимов ΣОп:

ΣОп = f(ΣК)(ΣП)(ΣР)(ΣА<sub>н</sub>)(ΣС<sub>х</sub>)(ΣГ<sub>в</sub>)(ΣΠ<sub>0</sub>)(ΣР<sub>ф</sub>) или ΣОп = f(ΣX<sub>i</sub>), где ΣX<sub>i</sub> — интегральные показатели климата, почв, растительности, антропогенного воздействия, сельскохозяйственного использования, грунтовых вод, пород, рельефа.

Процесс опустынивания действует на почву (Π) и породу (Π<sub>0</sub>). С нашей точки зрения, целесообразны два варианта математического описания данного процесса. В первом варианте ΣОп = [Σn·k<sub>1</sub>·ΣK<sup>1/n</sup>] + [Σnk<sub>2</sub>ΣP<sup>1/n</sup>] + [Σnk<sub>3</sub>ΣA<sub>н</sub><sup>1/n</sup>] + [Σnk<sub>4</sub>ΣC<sub>х</sub><sup>1/n</sup>] + [Σnk<sub>5</sub>ΣГ<sub>в</sub><sup>1/n</sup>] + [Σnk<sub>6</sub>ΣР<sub>ф</sub><sup>1/n</sup>], где k<sub>i</sub> — доля (вес) влияния независимых переменных на исходную почву на определенной породе; 1/n — коэффициент, указывающий на экспоненциальный характер зависимости. Сумма k<sub>i</sub> = 1. Интегральные показатели независимых переменных выражаются в долях от оптимума (от 0 — при отсутствии их влияния на опустынивание до 1 — при полной зависимости ΣОп от X<sub>i</sub>). Так, климатические факторы определяют в конкретной ситуации опустынивание на 65% (k<sub>1</sub>=0,65), растительность — на 10% (k<sub>2</sub>=0,1); антропогенное воздействие (загрязнение) — на 5%; сельскохозяйственное использование, например, дигрессия, — на 10%; уровень грунтовых вод — на 5%, рельеф — на 5%. Сумма k<sub>i</sub> = 1,0.

Если ΣК в долях от оптимума, не вызывающего опустынивания, равно 0,5; ΣР = 1,0; ΣА<sub>н</sub> = 1,0; ΣС<sub>х</sub> = 0,7; ΣГ<sub>в</sub> = 1 и ΣР<sub>ф</sub> = 0,9, то суммарное изменение почв по сравнению с исходным при развитии опустынивания составит ΣОп = ΔΣΠ = [0,65·0,5 + 0,1·1,0 + 0,05·1,0 + 0,1·0,7 + 0,05·1,0 + 0,05·0,9] · Π без учета изменения во времени характеризующимся коэффициентом 1/n.

При этом по влиянию факторов на опустынивание могут существовать эффекты синергизма и антагонизма ±k<sub>n</sub>(X<sub>i</sub>·X<sub>i+1</sub>).

Так, опустынивание усиливалось при совместном действии дефляции, дигрессии, обеднения почв элементами питания, загрязнения и ослаблялось при одновременном избыточном увлажнении; дефляция уменьшалась при осолонцевании почв, загрязнении их нефтепродуктами.

Аналогично влияние на интегральную величину  $\Sigma X_i$  показателей более низкого иерархического уровня определяется долей влияния на  $\Sigma X_i$  отдельных величин  $X$  (величиной  $k$ ) и степенью оптимальности  $X$  от показателя  $X$ , не вызывающего опустынивания. При первом уровне приближения  $\Sigma \text{Оп} = \Delta \Sigma \Pi = [\Sigma k_i X_i] \cdot n$ . Однако в этом случае не учитывается величина  $1/n$ , которая для разных зависимостей  $Y$  от  $X$  или  $\Sigma \text{Оп}$  от  $\Sigma X_i$  отличается. Степень оптимальности  $X_i$  определяется выражением:  $X_i/X_{\text{опт}}$ .

Математически описать данный процесс можно с помощью уравнения множественной регрессии:

$$\Sigma \text{Оп} = \Delta \Sigma \Pi = A + k_1 X_1^n + k_2 X_2^n + k_3 X_3^n + k_4 X_4^n + k_5 X_5^n + k_6 X_6^n,$$

где  $X_1 - X_6$  выражаются в натуральных единицах измерения (например, осадки в мм, рельеф в угле наклона и т.д.),  $n$  — показатель степени при разном характере зависимости.

При этом величины  $k$  могут иметь положительное и отрицательное значение, а между факторами  $X_i$  по их влиянию на  $Y$  или  $\Delta \Sigma \Pi$  проявляются эффекты синергизма и антагонизма. Очевидно, что разные почвы и породы в неодинаковой степени устойчивы к опустыниванию. Это характеризуется величиной  $A$ .

На основе анализа данных крупномасштабного почвенного картирования и агроэкологической оценки почв при учете связи опустынивания почв с факторами, его определяющими, установлены следующие зависимости:

$$Y = 1989,35/(48,22 + X_1); r = 0,30, \text{ где } X_1 \text{ — бонитет почв,}$$

$$Y = 21,74 + 0,8X_2, r = 0,59, \text{ где } X_2 \text{ — эродированность почв,}$$

$$Y = 55,97 + 0,96X_3, r = 0,37, \text{ где } X_3 \text{ — техногенная нагрузка на ландшафт,}$$

$$Y = 48,19 + 0,98X_4; r = 0,32, \text{ где } X_4 \text{ — содержание физической глины, в \%}$$

$$Y = 46,69 + 4,54X_5^{-2}; r = 0,31, \text{ где } X_5 \text{ — засоленность почв}$$

Связь доли техногенно нарушенных почв ( $Y$ ) со степенью засоления ( $X_1$ ), содержанием физической глины ( $X_2$ ), степенью гидроморфизма ( $X_3$ ), содержанием гумуса ( $X_4$ ) выражалась следующими зависимостями.

$$Y = f(X_1), \quad Y = 3,42/(0,81 + X), \quad R = 0,38$$

$$Y = f(X_2), \quad Y = 0,711 + 61487,14 \cdot X^{-2}, \quad R = 0,58$$

$$Y = f(X_3), \quad Y = 14,08 + 525,22 \cdot X^{-2}, \quad R = 0,43$$

$$Y = f(X_4), \quad Y = 83,15 + 482,52 \cdot X^{-2}, \quad R = 0,77.$$

В конечном итоге опустынивание обусловлено совокупностью процессов деградации почв. Опустынивание развивается под влиянием совокупного действия нескольких причин или внешних факторов (поступления вещества, энергии и информации в почву, их трансформации) и факторов, обуславливающих их перемещение, миграцию и аккумуляцию. В то же время интенсивность опустынивания определяется и внутренними факторами — свойствами породы, ее минералогическим, химическим, гранулометрическим составом, микробиологической активностью, свойствами, процессами и режимами ранее сформировавшихся почв.

Особенностями факторов опустынивания для исследуемого региона являются: 1) близость моря и перенос солей на территории, подверженные опустыниванию; 2) засоленность пород; 3) зависимость уровней грунтовых вод от уровня Каспийского моря; 4) значительное усиление антропогенного воздействия в связи с социальными факторами, резким увеличением численности населения в равнинных районах в последние годы в связи с переселением людей с горных районов на равнины; 4) смена в последние 100 лет гидроморфных условий образования почв на аридные, что привело к тренду изменения рельефа, гидрографии и гидрологии, растительности, почвенного покрова, экологического состояния.

В исследуемых почвах опустынивание соответствовало уменьшению содержания органического вещества и сужению отношения  $C_{\text{гк}}/C_{\text{фк}}$ ; уменьшению оструктуренности почв, увеличению дисперсности и плотности почв, уменьшению емкости поглощения почв, увели-

чению доли в минералогическом составе  $\text{CaCO}_3$  и простых солей, уменьшению влажности и увеличению прочности связи воды с почвой, увеличению доли в ППК магния по сравнению с кальцием и натрия по сравнению с кальцием и магнием; уменьшению видового разнообразия растительного покрова и степени покрытия почв травостоем, потере илистой фракции с дефляцией, упрощению строения почвенного профиля, уменьшению КПД использования растениями и почвой ФАР (фотосинтетически активной радиации).

Таким образом, антропогенное воздействие является важным фактором опустынивания, усиливающим влияние естественных условий аридизации территории. Разный характер и интенсивность отдельных антропогенных воздействий в неодинаковой степени влияют на развитие опустынивания и зависят от свойств почв. С использованием уравнения множественной регрессии зависимости сводного показателя опустынивания и частных его проявлений от отдельных антропогенных воздействий можно, в первом приближении, оценить зависимость этих воздействий для процесса деградации почв и наметить первоочередность мероприятий по оптимизации обстановки.

### Библиографический список

1. Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.М-Р, Аджиев А.М., Муфараджиев К.Г. Почвы Дагестана, экологические аспекты их рационального использования. Махачкала, 2008.
2. Гасанова З.У. Влияние режимов пастбищного использования на почвенный покров Терско-Кумской низменности: Автореф. канд. дис. М.: МГУ, 1996.
3. Гунин П.Д., Панкова Е.И. О роли российских ученых в становлении концепции опустынивания аридных и семиаридных экосистем // В кн. «Почвы, биогеохимические циклы и биосфера». М.: КМК, 2004. С. 226–238
4. Добровольский Г.В., Федоров К.Н., Стасюк Н.В. Проблемы изучения почв Прикаспийской низменности // Почвоведение, 1986. 17. № 3. С. 31–38.
5. Куст Г.С. Опустынивание: принципы эколого-генетической оценки и картографирования. М., 1999.
6. Савич В.И., Сычев В.Г. Энергетическая оценка плодородия почв. М.: ВНИИА, 2007.
7. Саидов А.К. Почвы Кизлярских пастбищ, их современная диагностика и экология, Махачкала: Наука, 2008.
8. Щербуль З.З. Гидрогеологические особенности и геоэкологические последствия многолетней эксплуатации Северо-Дагестанского артезианского бассейна: Автореф. канд. дис. Махачкала, 2008.

### SUMMARY

It has been discovered that soils' desertification progresses under the influence of both natural and anthropogenic factors, causing change in condition, transformation and migration of substances, energy and information. For investigated region desertification, alongside with known factors, is due to underground waters level descent, aridization in the least resistant to desertification phase of plants development, decrease in soil stability when hydromorphic conditions change to automorphic, low content of humus, nitrogen and phosphorus in soils, decrease in horizons variety, granulometric composition, sorptive centres, ground cover, content and efficiency factor of energy use.

**Key words:** soil fertility, desertification, soil formation factors.

**Савич Виталий Игоревич** — д. с.-х. н. Эл. почта: savich@degunino.com

**Саидов Абдулмуталим Кырывович** — д. б. н.

**Норовсуэн Жадамбаа** — д. б. н.,

**Каба Рама** — к. б. н.

**Шнее Татьяна Владимировна** — к. б. н. Тел. (499) 976-32-16.