СТАТЬИ

УДК 631.436

**ЛАТЕРАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КОМПЛЕКСА ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ПРЕДСАЛАИРЬЯ**

Шапорина Н.А., Сайб Е.А.

*ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии» СО РАН, Новосибирск,
e-mail: shaporina@issa-siberia.ru*

Представлены результаты исследований, целью которых являлось изучение неоднородности водно-физических свойств комплекса склоновых почв Предсалаирья. В качестве объекта исследований рассматривался и анализировался сопряженный ряд почв, расположенных на выпуклом склоне юго-западной экспозиции с перепадом высот до 17 м. Показано, что характеристики склона позволяют различать две части: верхнюю и нижнюю; между ними существует значительная разница: по рельефу, по мощности гумусового горизонта, по глубине вскипания, по увлажнению вертикального профиля, по плотности пахотного горизонта. Средние показатели плотности пахотного горизонта варьируют от 0,99 г/см³ в верхней части склона и до 1,15 – в нижней, коэффициент вариации колеблется от 8 до 10,4%. Запасы влаги в метровой толще на конец июня изменялись вниз по склону от 283 до 340 мм. Увлажнение нижней части склона характеризуется большей неравномерностью и контрастностью пахотного горизонта, что объясняется наличием большого количества микропонижений и микроповышений, которые разрывают единые потоки воды и приводят к перераспределению зон эрозии и аккумуляции. Установленные различия накладывают опечаток на агротехнику возделывания культур на склоне. Рекомендовано использовать контурную вспашку.

Ключевые слова: вариабельность, плотность, влажность, микрорельеф, эродированные почвы

**THE LATERAL VARIABILITY OF AGROPHYSICAL INDICATORS
OF THE COMPLEX OF ERODED SOILS OF THE PREDSALAIRYE REGION**

Shaporina N.A., Sayb E.A.

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of ISSA SB RAS, Novosibirsk,
e-mail: shaporina@issa-siberia.ru*

The results of studies whose purpose was to examine the heterogeneity of water-physical properties of the complex of slope soils of the Predsalaire region have been presented. The conjugate series of soils located on the convex slope of the South-Western exposure with a height difference of up to 17 meters was considered and analyzed as the object of the research. It is shown that the characteristics of the slope enable us to distinguish the two parts: upper and lower; there is considerable difference between them in terms of their: relief, capacity of humus horizon, depth of soil effervescence, humidification of a vertical profile, and the density of an arable horizon. The average rates of density of the arable horizon varies from 0.99 g/cm³ at the upper part of the slope and to 1.15 – at the lower, the coefficient of variation fluctuates between 8 and 10.4%. Moisture reserves in the meter thick layer at the end of June varied downwards the slope from 283 to 340 mm. The moistening of the lower part of the slope is characterized by greater unevenness and contrast of the arable horizon, this is explained by the presence of a large number of the microdirections and micro-rises, which break the whole water stream and lead to its redistribution of zones of erosion and accumulation. The established differences leave an imprint on the agricultural technology of cultivation of crops on the slope. It is recommended to use contour plowing.

Keywords: variability, density, humidity, microrelief, eroded soils

Проблеме исследования пространственно-временной изменчивости почвенных свойств уделяется в настоящее время большое внимание в связи с глубоким изучением биосферной роли почвенного покрова и развитием адаптивно-ландшафтного земледелия. В основе современного точного и устойчивого земледелия лежит учет специфики пространственной структуры почвенных свойств и применение агромероприятий, соответствующих данному участку в данный момент времени. Для реализации стратегии точного земледелия (ТЗ) необходимо оценивать варьирование агротехнических показателей в принятой системе позиционирования, что способствует принятию оптимальных управленческих решений. Знания о пространствен-

ной и временной изменчивости параметров плодородия позволяют выполнять операции воздействия на них в нужном месте и в необходимом количестве. Эффективность точного земледелия будет во многом зависеть от того, как быстро и точно мы сможем определять эти показатели. Частота измерений (пространственная и временная) зависит от того, какова вариабельность измеряемого показателя [1]. Точное земледелие обязано своим появлением внедрением в сельскохозяйственное производство новейших достижений вычислительной техники и информационных систем. Возможность обработки данных по природным объектам с пространственно-распределенными характеристиками обеспечивает количественное описание пространственной

изменчивости почвы, повышает точность оценок почвенных свойств, при интерполяции данных, а также служит основой для планирования рационального отбора почвенных проб [2]. Все это делает исследование латеральной изменчивости свойств почв, особенно склоновых, весьма актуальной в плане концепции адаптивно-ландшафтного и точного земледелия.

Цель работы: дать оценку пространственной неоднородности водно-физических свойств комплекса деградированных почв Предсалаирья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на Усть-Каменском стационаре Института, расположенном в лесостепной зоне, в пределах Буготакского мелкосопочника, являющегося частью Предсалаирской денудационно-аккумулятивной равнины. В качестве объекта исследований в 2018–2019 гг. рассматривался и анализировался сопряженный ряд почв, расположенных на выпуклом склоне юго-западной экспозиции. Топография склона представлена на рис. 1.

Длина склона в направлении с севера на юг в сторону р. Ирбочки 400 м, перепад высот 16–17 м. Уклоны от 1° в верхней части склона до 6° – в нижней. Кроме того, отмечаются небольшие до $1,5^{\circ}$ уклоны в западном и юго-западном направлениях.

Основу почвенного покрова склона составляют оподзоленные черноземы (60%), занимающие водораздельные участки, верхнюю и среднюю часть склона. Они геохимически сопряжены с темно-серыми почвами, приуроченными к нижней трети склона. На их долю приходится 39% площади. Склон распахан и используется под

посевы сельскохозяйственных культур, в основном зерновых.

Вдоль склона была проложена трансекта длиной 280 м, по которой через каждые 15 м измерялась высота точки, мощность гумусового горизонта, глубина залегания карбонатов и влажность профиля глубиной до 1 м через каждые 10 см. Кроме того, были заложены три площадки размером 10х10 м, на которых по регулярной сетке с шагом 2,5 м (25 точек) проводилась нивелирная съемка, определялись плотность и влажность пахотного горизонта. Одна площадка располагалась в верхней части склона – почва чернозем оподзоленный слабосмытый, вторая – в средней части склона на темно-серой лесной почве среднесмытой, третья – в нижней части склона серая лесная сильносмытая. Плотность определялась буриками Качинского объемом 100 см^3 , влажность – термостатно-весовым методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований по трансекте представлены на рис. 2. Следует сразу отметить, что весь склон вдоль трансекты по всем показателям делится на две части (табл. 1). По рельефу: примерно до 140 м поверхность плавно понижается с перепадом высот 4 м (коэффициент вариации 1,56%). Во второй половине перепад высот составил 9 м. К тому же на поверхности второй половины наблюдается большое количество микроповышений и микрозападин, которые разрывают единые потоки воды и приводят к перераспределению зон эрозии и аккумуляции. Коэффициент вариации при этом возрос до 13,5% (табл. 1).

Рис. 1. Топография склона 400х400 м, рассматриваемого в качестве объекта исследования: А – горизонтали по отметкам высот над уровнем моря; Б – уклоны поверхности

Таблица 1

Статистические характеристики морфологических признаков почв

Морфологические показатели	Отметки поверхности, м		Мощность гумусового горизонта, см		Глубина вскипания, см	
	Часть склона		Часть склона		Часть склона	
	Верхняя	Нижняя	Верхняя	Нижняя	Верхняя	Нижняя
Ср. знач.	253,7	243,7	40,6	32,8	104,8	126,3
Мин.	252	239	30	25	85	87
Макс.	256	249	48	40	115	157
Размах	4	9	18	15	30	70
Ст. откл.	1,25	3,33	6,9	6,0	9,3	27,1
Коэфф. вар., %	4,9	13,5	17,0	18,3	8,8	21,5

Рис. 2. А – кривые сопряженного колебания поверхности, мощности гумусового горизонта и глубины залегания карбонатов вдоль склона (256...240 – отметки высот над уровнем моря; Б – распределение увлажнения профиля глубиной 1 м по трансекте вдоль склона (→ направление уклона)

По мощности гумусового горизонта верхняя и нижняя части склона в пределах трансекты также отличаются друг от друга. В верхней половине, где преобладают черноземы, средний показатель составляет 40,6 см, размах колебаний 18 см и коэффициент вариации 17%. В нижней половине средняя мощность горизонта составляет 32,8 см при размахе колебаний 15 см и коэффициенте вариации 18,7%. Такие колебания показателей свидетельствуют, как

об увеличении доли серых лесных почв в нижней части трансекты, так и о нарастании степени смытости, что подтверждают ранее проведенные исследования на этом склоне [3].

Далее, глубина вскипания – весьма показательный морфологический признак почв, связанный с особенностями миграции влаги в почвенном профиле. И здесь также наблюдаются различия статистических характеристик верхней и нижней частей

склона. В верхней части склона среднее значение глубины вскипания составляет 104,8 см. Максимальные значения не превышают 115 см, колебание показателей незначительное – 8,8%. Во второй половине картина совершенно другая. Среднее значение возросло до 126,3 см при максимуме 157 см. Коэффициент вариации увеличился в 2,5 раза, размах колебаний составил 70 см против 30 см в верхней части склона.

Такая картина изменчивости глубины залегания карбонатов могла, на наш взгляд, сложиться в результате фрагментации поверхности склона, о которой говорилось выше (коэффициент корреляции глубины вскипания с микрорельефом составил $-0,44$). В нашем случае стекающая по склону во время снеготаяния или при обильных осадках влага могла задерживаться в микрозападинах, переводя боковой поверхностный сток в вертикальный внутрипочвенный. Это, в свою очередь, приводило к выщелачиванию карбонатов и понижению линии вскипания (рис. 2, А).

Подтверждает это предположение и увлажнение вертикального профиля трансекты (рис. 2, Б). Отчетливо выделяется повышенное увлажнение профиля в районе выделенных микрозападин, и если в верхней части склона, где рельеф выровнен, увлажнена только 50 см толща, то ниже по склону повышенное увлажнение наблюдается и в слое 50–100 см. Запасы влаги в метровой толще верхней половины склона на конец июня составили в среднем 283 мм, ниже по склону – 312 мм, в микрозападинах от 320 до 340 мм. Коэффициент корреляции

с микрорельефом составил $-0,69$. Таким образом, установлено, что на перераспределение влаги по склону помимо направления и величины основного мезосклона, большое влияние оказывает микрорельеф склоновой поверхности.

Далее, рассмотрим вариабельность относительных отметок превышения поверхности, плотности и влажности пахотного горизонта в верхней, средней и нижней частях склона. На рис. 3 представлена нивелирная съемка поверхности трех площадок.

Показано, что максимальный перепад высот площадки 1, расположенной в верхней части склона (чернозем оподзоленный слабосмытый), составляет 34 см, направление наклона поверхности приблизительно 45° к направлению трансекты. Перепад высот в направлении трансекты – 13 см. На площадке 2, в средней части склона (серая лесная среднесмытая), направление наклона практически совпадает с направлением трансекты, перепад высот – 68 см. В правом нижнем углу отмечается микрозападина глубиной 20 см, поэтому общий перепад высот составляет 98 см. В нижней части склона (площадка 3) перепад высот составляет уже 105 см. Соответственно возрастают и углы наклона поверхности.

В табл. 2 представлены статистические характеристики плотности экспериментальных площадок. Установлено, что плотности пахотного горизонта чернозема слабосмытого (площадка 1) колеблется в пределах $0,86\text{--}1,14\text{ г/см}^3$ при среднем показателе $0,98\text{ г/см}^3$. Размах колебаний $0,28\text{ г/см}^3$. Коэффициент вариации плотности – 8,0%.

Рис. 3. Результаты нивелирной съемки поверхности экспериментальных площадок 1, 2 и 3: 0–105 отметки превышения; $\Rightarrow$ направление трансекты; $\rightarrow$ направление уклона

Таблица 2

Статистические характеристики плотности пахотного слоя экспериментальных площадок

	Площадка 1, верх склона (чернозем оподзоленный слабосмытый)	Площадка 2, средняя часть склона (серая лесная среднесмытая)	Площадка 3, нижняя часть склона (серая лесная сильносмытая)
Среднее значение, г/см ³	0,99	1,04	1,15
Минимум, г/см ³	0,86	0,87	0,90
Максимум, г/см ³	1,14	1,21	1,37
Размах колебаний, г/см ³	0,28	0,34	0,47
Ст. отклонение	0,08	0,098	0,12
Дисперсия	0,006	0,01	0,014
К. вариации, %	8	9,4	10,4

Рис. 4. Топоизоплеты объемной массы (г/см³) пахотного слоя экспериментальных площадок 10х10 м; 1 – верхняя часть склона (чернозем оподзоленный слабосмытый), 2 – средняя часть склона (темно-серая лесная среднесмытая), 3 – нижняя часть склона (серая лесная сильносмытая)

Плотность пахотного горизонта расположенной ниже по склону темно-серой лесной среднесмытой почвы (площадка 2) составила в среднем 1,04 г/см³, при этом она варьировала от 0,87 до 1,21 г/см³. Размах колебаний 0,34 г/см³ – это в 1,2 раза больше, чем в черноземе. Коэффициент вариации также больше – 9,4%. Плотность пахотного горизонта площадки 3 (серая лесная сильносмытая) варьирует в еще более широких пределах. Средние показатели колеблются от 1,15 г/см³ до 1,37 г/см³, коэффициент вариации – 10,4%. Топоизоплеты плотности, представленные на рис. 4, наглядно демонстрируют различия пространственного распределения плотности трех площадок. Установлено, что варьирование показателей зависит от площади опробования: при увеличении площади опробования коэффициент вариации возрастает. В наших опытах

2018 г. [4] коэффициент вариации плотности пахотного горизонта площадки 1х1 м составил 7%, а площадки 5х5 м – 9,2%. В 2019 г. на площадках 10х10 м вариabельность менялась от 8 до 10,4% в зависимости от расположения площадок по рельефу.

Влажность в процентах от объема на момент определения плотности для первой площадки в среднем составила 34,1%, при изменении от 27,9 до 38,4%. Вариabельность – 10,5%. Пахотный горизонт темно-серой почвы был более влажным. Средний показатель – 36,3%. Размах колебаний от 28,9% до 40,8%. Коэффициент вариации – 11,9%.

Кроме того, мы представили статистические характеристики в виде диаграмм размаха, так называемых Box Plot (рис. 5). Этот способ представления и сравнения групп данных в графическом виде является достаточно удобным.

Рис. 5. Статистические параметры распределения значений плотности пахотного слоя экспериментальных площадок

Помимо того, что на графике видны все ключевые значения (средние показатели, медиана и т.д.), можно наглядно оценить симметричны ли данные, насколько плотно они сгруппированы, как и в каком направлении они смещены. В нашем случае по плотности четко видно разницу между площадками. Более высокие значения средних по объемной массе на второй и третьей площадках сформировались не только за счет увеличения максимума при практически одинаковых минимумах, но и за счет группировки 50% значений в более высоком диапазоне плотностей.

Возрастание средних и медианы вниз по склону свидетельствует об увеличении плотности пахотного горизонта вниз по склону, а увеличение общего и квартильного размаха говорит о большей неоднородности и контрастности уплотнения пахотного горизонта на второй и третьей площадках по сравнению с первой, что, в свою очередь, может объясняться усилением микрозападинности рельефа.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что рассматриваемый склон по целому ряду показателей можно разделить на две части. Верхняя часть (примерно до 140 м) пологая с уклоном 1,5° в основном на юго-запад, с ровным

характером поверхности, с преобладанием черноземов слабосмытых. В нижней части, где преобладают серые лесные средне- и сильносмытые почвы, уклоны достигают 6° с направлением в основном на юг; поверхность отличается наличием большого количества микрозападин и микроповышений; пахотный горизонт более плотный и влажный. Вариабельность плотности, влажности, мощности гумусового горизонта, глубины залегания карбонатов достоверно выше, чем в верхней части склона. Согласно «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования» земли верхней части исследуемого склона следует отнести ко II категории эрозионности – земли интенсивного использования с преобладанием слабосмытых почв, а земли нижней части склона – к III категории – земли умеренного использования с преобладанием среднесмытых почв [5]. Это не может не накладывать определенного отпечатка на агротехнику поля в целом. Если в верхней части склона достаточно обычной безотвальной обработки строго поперек склона, то в нижней – использование земель в пашне должно осуществляться в системе противоэрозионных мероприятий с исключением пропашных культур, расширением посевов многолетних трав

и зернобобовых, а также заменой чистого пара сидеральным.

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

Список литературы

1. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. № 4. С. 89–94.

2. Сидорова В.А. Геостатистический анализ пространственной неоднородности сельскохозяйственных полей для

целей точного земледелия: автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук. Петрозаводск, 2011. 26 с.

3. Эрозия и диагностика эродированных почв Сибири / Отв. ред. В.П. Панфилов; АН СССР. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1988. 116 с.

4. Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Чумбаев А.С. Пространственная вариабельность водно-физических свойств темно-серой лесной почвы в условиях Предсалаирья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 10. С. 144–149.

5. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолоС, 2011. 422 с.