



ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА СКЛОНОВЫХ ПОЧВ ПРЕДСАЛАИРЬЯ

© 2020 Н. А. Шапорина, Е.А. Сайб 

Адрес: ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: shaporina@issa-siberia.ru

Цель исследования: оценить пространственную неоднородность водно-физических свойств комплекса деградированных почв Предсалаирья. В задачи исследований входило: изучить пространственную изменчивость морфологических и агрофизических показателей сопряженного ряда почв разной степени эродированности, дать оценку их вариабельности.

Место и время проведения. Исследования проводились в лесостепной зоне, в пределах Буготакского мелкопочника (55°03' с. ш.; 88°50' в. д.). Анализировали сопряженный ряд почв разной степени эродированности на выпуклом склоне длиной 411 м юго-восточной экспозиции. Период наблюдения с 1 июля по 15 августа 2016 года.

Основные результаты. В работе представлены результаты исследований вариабельности плотности, влажности и температуры комплекса склоновых почв Предсалаирья. Вариабельность показателей пахотного горизонта довольно значительна и зависит от масштаба опробования. Изучение пространственной неоднородности водно-физических свойств почв показало: более сильно уплотнены чернозем оподзоленный неэродированный и луговая намывтая почва. Более низкие температуры пахотного слоя отмечены в темно-серой лесной слабоэродированной и луговой средненамытой почвах. Разброс температур между “теплыми” и “холодными” почвами составил 1,8 °С.

Заключение. Подобного рода исследования весьма перспективны в плане совершенствования разрабатываемых и внедряемых в производство адаптивно-ландшафтных систем земледелия в районах со сложным рельефом и наличием эродированных почв. Важнейшим звеном таких исследований является противоэрозионная организация территории. Проблема требует дальнейших научных проработок в сфере дифференциации комплекса мероприятий по географическим районам страны, в том числе по природным зонам.

Ключевые слова: пахотный горизонт; плотность; влажность; температура; вариабельность; латеральная изменчивость, Западная Сибирь

Цитирование: Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Вариабельность агрофизических показателей комплекса склоновых почв Предсалаирья // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. e118. doi: 10.31251/pos.v3i2.118

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с развитием адаптивно-ландшафтного земледелия и изучением биосферной роли почвенного покрова проблемам исследования пространственно-временной изменчивости почвенных свойств уделяется большое внимание. Основой современного точного и устойчивого земледелия является учет специфики пространственной структуры почвенных свойств, а также применение агроуправляющих мероприятий, соответствующих в данный момент времени данному участку поля. Принятию оптимальных управленческих решений при реализации стратегии точного земледелия (ТЗ) способствует оценка варьирования агротехнических показателей. Данные о пространственной и временной изменчивости параметров почвенного плодородия позволяют воздействовать на них в нужном месте и в необходимом количестве (Личман и др., 2011). Внедрение информационных систем в сельскохозяйственное производство способствовало появлению точного земледелия, так как дало возможность обрабатывать данные по природным объектам с пространственно распределенными характеристиками, обеспечивать количественное описание пространственной изменчивости почвы, а также повышать точность оценок почвенных свойств и служить основой для планирования рационального отбора почвенных проб. Все это делает исследование латеральной изменчивости свойств почв, особенно склоновых, весьма актуальным в плане концепции адаптивно-ландшафтного и точного земледелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования находится в лесостепной зоне юга Западной Сибири, в пределах Буготакского мелкосопочника, который является частью Предсалаирской денудационно-аккумулятивной равнины, расположенной в правобережной части бассейна Оби. Это возвышенная холмистая равнина, основными элементами рельефа которой являются склоны преимущественно выпуклой формы с абсолютными отметками высот 200–300 м, 55°03' с. ш.; 88°50' в. д. Формированию автоморфных почв, занимающие около 80% территории, способствовала хорошая дренированность Предсалаирья. Здесь наиболее распространены выщелоченные, черноземы оподзоленные и темно-серые лесные почвы. Для Буготакского мелкосопочника характерно преобладание черноземов оподзоленных. Большинство склоновых почв, вследствие значительной расчлененности рельефа, больших водозапасов в снежном покрове, интенсивного снеготаяния, в той или иной степени подвержено эрозионным процессам.

В качестве объекта исследований анализировался сопряженный ряд почв, расположенных на склоне юго-восточной экспозиции. Склон длиной 411 м выпуклой формы с уклонами от 1° в верхней части склона до 6° в нижней и абсолютными отметками от 258 до 242 м. Почвенный покров склона составляют оподзоленные черноземы – 60% (занимающие водораздельные и приводораздельные участки), геохимически они сопряжены с темно-серыми лесными почвами, приуроченными к средней и нижней частям склона (на долю которых приходится 39% площади). На шлейфе склона выделены намытые луговые оподзоленные почвы (Орлов и др., 1988).

Вдоль склона на почвах разной степени эродированности было заложено пять разрезов: 1 – чернозем оподзоленный неэродированный; 2 – чернозем оподзоленный слабоэродированный; 3 – темно-серая лесная слабоэродированная почва; 4 – чернозем оподзоленный сильноэродированный; 5 – луговая средненамытая почва. В разрезах отбирались образцы для определения физических свойств, устанавливались автономные регистраторы температуры DS-1921G «Thermochron» до глубины 50 см через каждые 5 см, начиная с поверхности, которые были запрограммированы на фиксацию температуры через каждые полчаса. Определение влажности почв проводилось термостатно-весовым методом, отбор образцов осуществлялся буром через 10 см до глубины 50 см в трехкратной повторности один раз в декаду. Также проводились ежедневные наблюдения за температурой воздуха и осадками. Период наблюдения по всем параметрам – с 1 июля по 15 августа 2016 года. Кроме того, для исследования вариабельности плотности и влажности пахотного горизонта были заложены экспериментальные площадки размером 1, 25 и 100 м², а для изучения вариабельности морфологических показателей почв вдоль склона была проложена трансекта протяженностью 280 м, на которой через каждые 15 м измерялась высота точки, мощность гумусового горизонта, глубина залегания карбонатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования показали, что весь склон вдоль трансекты четко разделяется на две части. Примерно до 140 м, с перепадом высот 4 м, поверхность склона плавно понижается (коэффициент вариации при этом составляет 1,56%), далее до шлейфа склона перепад высот составляет 9 м. Наблюдается большое количество микроповышений и микрозападин, которые, по нашему мнению, разрывают единые потоки воды при снеготаянии и осадках, что, в свою очередь, приводит к перераспределению зон эрозии и аккумуляции (рис. 1) (Шапорина, 2016; Шапорина, Сайб, 2019), при этом коэффициент вариации возрастает до 13,5%.



Рисунок 1. Кривые сопряженного колебания поверхности, мощности гумусового горизонта (красная) и глубины залегания карбонатов вдоль склона (зеленая).

Верхняя и нижняя части склона также отличаются друг от друга по мощности гумусового горизонта. В верхней половине преобладают черноземы, средний показатель мощности составляет здесь 40,6 см, с размахом колебаний 18 см (коэффициент вариации 17%), в нижней половине он равен 32,8 см, при размахе колебаний 15 см (коэффициент вариации 18,7%). Такие колебания показателей мощности гумусового горизонта, во-первых, свидетельствуют об увеличении доли серых лесных почв в нижней части трансекты, а во-вторых – о нарастании степени смытости.

Весьма показательным морфологическим признаком почв, связанным с особенностями миграции влаги в почвенном профиле, является глубина вскипания. Среднее значение глубины вскипания в верхней части склона составляет 104,8 см, при этом максимальные значения не превышают 115 см (колебание показателей незначительное – 8,8%). Совершенно другая картина наблюдается в нижней части склона, где среднее значение возрастает до 126,3 см при максимуме 157 см, коэффициент вариации увеличивается в 2,5 раза, а размах колебаний возрастает до 70 см. Такая картина изменчивости глубины залегания карбонатов могла, на наш взгляд, сложиться в результате фрагментации поверхности склона по микрорельефу, о которой говорилось выше (коэффициент корреляции глубины вскипания с микрорельефом составил 0,44). Стекающая по склону во время снеготаяния влага могла задерживаться в микрозападинах, переводя боковой поверхностный сток в вертикальный внутрипочвенный, что, в свою очередь, приводило к выщелачиванию карбонатов и понижению линии вскипания.

Результаты определения плотности показали, что наиболее сильно и равномерно уплотнен чернозем оподзоленный незэродированный, расположенный на плакоре. В нижней части склона луговая намытая почва в целом тоже более уплотнена. Для почв средней части склона характерна относительная рыхлость пахотного горизонта (1,15–1,21 г/см³) и равномерная плотность подпахотного – в пределах 1,31–1,36 г/см³ (табл. 1) (Шапорина, 2016).

Таблица 1

Плотность деятельного слоя эродированных почв Предсалаирья, г/см³ (июль 2016 г.)

Слой, см	Чернозем оподзоленный незэродированный	Чернозем оподзоленный слабо-эродированный	Серая лесная слабо-эродированная	Чернозем оподзоленный сильно-эродированный	Луговая средне-намытая
0–10	1,24	1,14	1,04	1,07	1,30
10–20	1,23	1,29	1,25	1,24	1,30
20–30	1,29	1,32	1,25	1,32	1,21
30–40	1,44	1,35	1,34	1,37	1,40
40–50	1,42	1,42	1,32	1,32	1,31
Среднее	1,31	1,28	1,23	1,25	1,30

Данное предположение подтверждают и результаты исследования увлажнения вертикального профиля трансекты. В верхней части склона, где рельеф выровнен, увлажнены только верхние 50 см толщи, ниже по склону повышенное увлажнение наблюдается и в слое 50–100 см. В метровой толще верхней половины склона на конец июня запасы влаги составили в среднем 283 мм (85% наименьшей влагоемкости – НВ). Отчетливо выделяется повышенное увлажнение профиля ниже по склону – 312 мм, а в районе выделенных микрозападин – 330 мм (НВ и >НВ). Коэффициент корреляции с микрорельефом составил 0,69. Таким образом, установлено, что большое влияние на перераспределение влаги по склону, кроме направления и величины основного мезосклона, также оказывает и микрорельеф склоновой поверхности.

В верхней и нижней частях склона изучалась вариабельность показателей плотности пахотного горизонта. Статистические характеристики плотности экспериментальных площадок представлены в таблице 2. Исследование показало, что на черноземе слабосмытом (площадка 1) показатели плотности пахотного горизонта варьируют в пределах от 0,86 до 1,14 г/см³, при среднем значении 0,98 г/см³. Соответственно, размах колебаний составляет 0,28 г/см³, а коэффициент вариации плотности – 8,0%. Средняя плотность пахотного горизонта темно-серой лесной среднесмытой почвы (площадка 2), которая расположена ниже по склону, равна 1,04 г/см³.

При этом показатели плотности варьируют от 0,87 до 1,21 г/см³ (то есть размах колебаний в 1,2 раза больше, чем в черноземе, и составляет 0,34 г/см³), а коэффициент вариации возрос на 9,4%.

При определении плотности почвы традиционным методом, согласно исследованиям Е. А. Дмитриева (1995), коэффициенты вариации редко превышают 10%. Поэтому вариабельность плотности экспериментальных площадок (7–11%) следует считать довольно значительной.

Анализ литературных данных о варьировании почвенных свойств свидетельствует, что при увеличении площади опробования коэффициент вариации возрастает (Салимгареева, 1995; Самсонова, 2008; Сорокин, 2009). Данный вывод подтверждают результаты и наших экспериментов (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели варьирования плотности на экспериментальных площадках различной площади

Показатель	1 м ²	25 м ²	100 м ²
Среднее, г/см ³	1,18	1,01	1,06
Минимум, г/см ³	1,03	0,85	0,88
Максимум, г/см ³	1,31	1,23	1,24
Коэффициент вариации, %	7	7,3	9,3

Важным практическим результатом при изучении вариабельности свойств почв является грамотное планирование объемов единичных выборок, чтобы число повторностей было достаточным для получения результатов с требуемой точностью и надежностью. По предложенным Е. А. Дмитриевым (1995) расчетам, находим, что объем выборки, способной обеспечить требуемую точность по плотности ($P 0,05 = 5\%$), для экспериментальной площадки, например, площадью 25 м² должен составлять 16 образцов.

Исследования температуры и температурного режима почв чрезвычайно важны, поскольку эти параметры напрямую влияют на интенсивность происходящих в ней биологических, химических, физических и биохимических процессов. В наших исследованиях были выбраны два периода, отличающиеся по погодным условиям. Первый (с 5 по 10 июля) можно охарактеризовать как жаркий и влажный, со средней температурой воздуха +20,9 °С; максимальной – +28,1 °С, минимальной – +14,6 °С; также отмечались обильные осадки. Второй период (с 5 по 10 августа) был теплым и сухим, со средней температурой +18,7 °С и практически полным отсутствием осадков. В один из дней этого периода ночная температура опустилась до +10 °С. Колебания суточных температур наблюдались до глубины почвы 35 см, на глубине 40 см они были почти незаметны, а на глубине 50 см не зафиксированы. На рисунке 2 представлен суточный ход температур в почвах, наиболее контрастных по влажностному режиму – черноземе оподзоленном неэродированном (черная линия), темно-серой лесной почве слабоэродированной (зеленая линия) и луговой средненамытой почве (красная линия). Ход температур отслеживался как на поверхности почвы, так и на глубинах 10 и 20 см. Следует отметить, что наряду с суточными колебаниями в обеих сериях наблюдений были зафиксированы устойчивые тренды: в сторону повышения температур – в первой серии, и снижения – во второй. Размах дневных и ночных колебаний температур отличался по периодам наблюдений. В первом периоде на поверхности почвы он составил в среднем 15 °С, на глубине 10 см – 8 °С и на глубине 20 см – 4 °С, причем по почвенным разностям отличия практически не обнаруживались. Выпадение осадков привело к довольно значимому уменьшению теплового потока, таким образом амплитуда колебаний снизилась до 11 °С.

Ситуация изменялась и во втором, более сухом периоде, где в результате выпадения осадков размах колебаний дневных и ночных температур снизился, соответственно, снизились и среднесуточные температуры. Кроме этого, почвенные разности четко разграничивались по температурному режиму. Так, температура поверхности чернозема оподзоленного была на 6 °С выше температуры поверхности темно-серой лесной слабоэродированной почвы и на 8 °С выше, чем на поверхности луговой средненамытой почвы. На глубине 10 см луговая средненамытая почва в среднем на 5 °С холоднее, в отличие от чернозема и темно-серой лесной почвы, которые на этой глубине абсолютно идентичны по температурному режиму. На глубине 20 см снова наблюдалось четкое разграничение: чернозем оподзоленный неэродированный был на 2 °С теплее темно-серой лесной слабоэродированной почвы и на 4 °С теплее луговой средненамытой (см. рис. 2) (Шапорина, 2016).

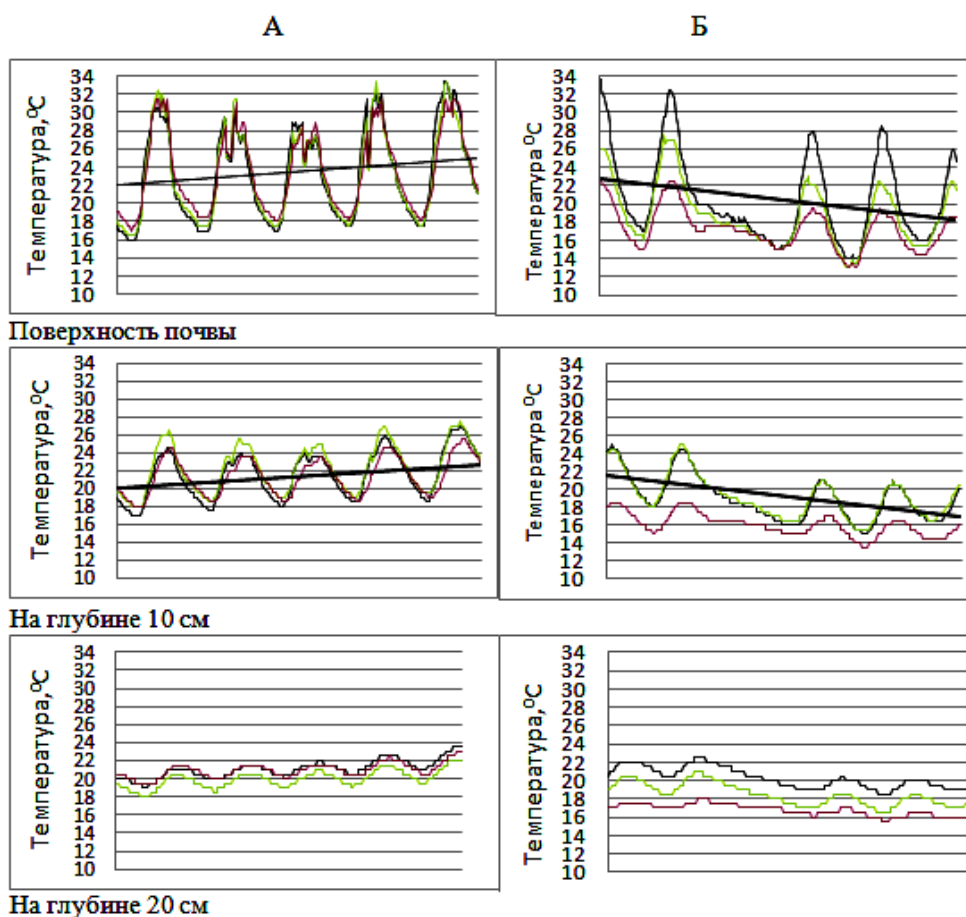


Рисунок 2. Суточный ход температур в профиле эродированных почв Предсалаирья; А – 5–10 июля; Б – 5–10 августа (2016 год).

Все вышесказанное также подтверждается анализом средних значений температуры почв за весь период наблюдений (42 дня). В пахотном горизонте таких почв, как темно-серая лесная слабоэродированная и луговая средненамытая, отмечались более низкие температуры (в среднем на 1,1 °С). В подпахотном горизонте луговая средненамытая почва отличалась от других почвенных разностей на 1,8 °С. Причиной этого, на наш взгляд, могло послужить своеобразие сложения ее профиля. Неравномерное уплотнение, наличие прослоек с низкой плотностью (соответственно, с более низкой теплопроводностью), а также наличие мощной гумусовой толщи, способствуют снижению теплопроводности. Черноземы оподзоленные, в особенности на плакоре, оказались значительно теплее как более плотные и равномерно сложенные. Таким образом, возникновение и развитие пространственных неоднородностей температурного режима почвенного покрова возникают, с одной стороны, за счет пространственной неоднородности свойств почв, с другой – под воздействием метеорологических условий на их поверхности.

Анализ полученных результатов показал, что разброс значений температуры в пахотном горизонте исследуемых почв составил 1,1 °С, причем более низкие температуры отмечены в серой лесной слабоэродированной почве и в луговой средненамытой почве. В подпахотном горизонте из всего комплекса исследуемых почв самой «холодной» оказалась луговая средненамытая почва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют заключить, что водно-физические свойства пахотных почв в комплексном почвенном покрове склоновых поверхностей Предсалаирья даже в пределах одного поля являются пространственно неоднородными. Установлено, что рассматриваемый склон по целому ряду показателей можно условно разделить на две части. Верхняя часть (примерно до 140 м) пологая, с уклоном 1,5°, ровным характером поверхности и преобладанием черноземов слабосмытых. В нижней части, где преобладают серые лесные средне- и сильносмытые почвы, уклоны достигают 6°, поверхность отличается большим количеством микрозападин и микроповышений. Такое деление характерно в основном для выпуклых склонов Предсалаирья.

Пахотный горизонт почв нижней части склона 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» (1973) земли верхней части исследуемого склона следует отнести ко II-й категории эрозийности – интенсивного использования с преобладанием слабосмытых почв, а земли нижней части склона – к III-й категории: умеренного использования с преобладанием среднесмытых почв. 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 части 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.

Подобного рода исследования в плане совершенствования разрабатываемых и внедряемых в производство адаптивно-ландшафтных систем земледелия весьма перспективны в районах со сложным рельефом и наличием эродированных почв. Важнейшим звеном таких исследований является противоэрозионная организация территории. Проблема требует дальнейших научных проработок в сфере дифференциации комплекса мероприятий по географическим районам страны, в том числе по природным зонам.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // *Геоматика*. 2011. №4. С 89–94. [Elibrary ID](#)
2. Орлов А.Д., Реймхе В.В., Ковалева С.Р. и др. *Эрозия и диагностика эродированных почв Сибири*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 119 с. [Elibrary ID](#)
3. Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Танасиенко А.А. Латеральная изменчивость агрофизических показателей и неоднородность гидротермического поля в почвенном покрове склоновых поверхностей Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 12-7. С. 1270-1275
4. Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Латеральная изменчивость агрофизических показателей комплекса эродированных почв Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 11. С.79-85. doi: 10.17513/mjpf.12936
5. Дмитриев Е.А. *Математическая статистика в почвоведении*: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
6. Самсонова В.П. *Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв*. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 160 с.
7. Салимгареева О.А. *Пространственная вариабельность физических свойств и водного режима чернозема типичного*. Автореф. дис. ... к.б.н. М., 1995. 24 с.
8. Сорокин А.П. *Особенности пространственной вариабельности почвенных свойств в ландшафтах дельты Волги*. Автореф. дис. ... к.б.н. Астрахань, 2009. 21 с.
9. *Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований*. М.: Колос, 1973. 95 с.

Поступила в редакцию 11.10.2020

Принята 10.12.2020

Опубликована 23.12.2020

Сведения об авторах:

Шапорина Нина Аркадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); shaporina@issa-siberia.ru

Сайб Екатерина Александровна – младший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sajb@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

VARIABILITY OF AGROPHYSICAL PROPERTIES OF HILLSLOPE SOILS IN THE CIS-SALAIR REGION (WEST SIBERIA)

© 2020 N. A. Shaporina, E.A. Sayb 

The aim of the study. The aim of the study was to estimate heterogeneity of moisture-related soil physical properties in a sequence of degraded hillslope soils in the cis-Salair region. The main tasks were to examine spatial fluctuations and changes in morphological and agrophysical properties of soils, differing in erosion degree, and assess their variability.

Location and time of the study. The study was conducted in the forest-steppe zone in the Bugotak Hills (Novosibirsk region, Russia). A sequence of arable soils located along the 411 m convex hillslope with south-eastern exposition was investigated since July 01 till August 15, 2016.

Main results. The article describes the variation of soil density, moisture content and temperature in a sequence of hillslope soils. The variation in the ploughed layer was found to be quite high, depending on the sampling scale. Examination of the spatial variability of the soil hydrophysical properties showed that the non-eroded podzolised chernozem (Luvic Greyzemic Chernozem) and toeslope meadow soil (Gleyic Greyzemic Phaeozem, Colluvic) had the highest density. The lower temperatures were recorded in the slightly eroded dark-gray forest soil (Luvic Greyzemic Phaeozem) and in the toeslope meadow soil, accumulating soil material eroded from the topslope. The temperature difference range between the "cold" and "warm" soils was 1.8 °C.

Conclusions. Such studies have important prospects in development and introduction of agricultural technologies that are landscape-adapted, especially in areas with diverse relief and eroded soils. The main focus of such research should be the anti-erosion landscaping. The problem needs to be further studied within the framework of targeting the anti-erosion measures to geographic regions and natural zones.

Keywords: eroded soil; ploughed horizon; soil density; moisture content; soil temperature; soil variability; lateral variability; West Siberia

Citation: Shaporina N.A., Sayb E.A. Variability of agrophysical properties of hillslope soils in the Cis-Salair region (West Siberia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(2). e118. doi: [10.31251/pos.v3i2.118](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.118)

REFERENCES

1. Lichman G., Marchenko N. Use of space monitoring and remote sensing for precision agriculture, *Geomatics*, 2011, No.8, p. 89-94. (in Russian) [Elibrary ID](#)
2. Orlov A.D., Rejmhe V.V., Kovaleva S.R. et al. *Erosion and diagnostics of eroded soils in Siberia*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1998, 119 p. (in Russian) [Elibrary ID](#)
3. Shaporina N.A., Chichulin A.V., Tanasienko A.A. The lateral variability of agrophysical indicators and the heterogeneity of the hydrothermal field in soil cover of the slope surfaces in the cis-Salair region // *Sovremeny Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2016, No.12-7, p. 1270-1275. (in Russian)
4. Shaporina N.A., Sayb E.A. The lateral variability of agrophysical indicators of the complex of eroded soils of the cis-Salair region // *Sovremeny Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2019, No.11, p. 79-85. doi: [10.17513/mjpf.12936](https://doi.org/10.17513/mjpf.12936)
5. Dmitriev E.A. *Mathematical statistics in soil science: textbook*. Moscow, MSU Publ., 1995, 320 p. (in Russian)
6. Samsonova V.P. *Spatial variability of soil properties: the example of sod-podzolic soils*. Moscow, LKI Publ., 2008, 160 p. (in Russian)
7. Salimgareeva O.A. *Spatial variability of physical properties and water regime of a typical chernozem*, Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. in Biology. Moscow, 1995, 24 p. (in Russian)
8. Sorokin A.P. *Features of the spatial variability of soil properties in the landscapes of the Volga delta*, Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. in Biology. Astrakhan, 2009, 21 p. (in Russian)
9. *USSR Instruction on Soil Investigations and Compilation of Large-Scale Soil Maps of Land Use*, Moscow, Kolos Publ., 1973, 95 p. (in Russian)

Received 11 October 2020; accepted 10 December 2020; published 23 December 2020

About the authors:

Shaporina Nina A. – Cand. Biol. Sci., Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); shaporina@issa-siberia.ru

Sayb Ekaterina A. – Junior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); sajb@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)