

С.П. Кулижский, А.Н. Блохин

*Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПОЧВ ЮГА СИБИРИ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

**Аннотация.** Освещается состояние степных почв Республики Хакасия с позиции их устойчивости к механическим воздействиям. Рассматривается возможность применения ряда современных методологических подходов к исследованию физических и физико-механических свойств почв, таких как лазерно-дифрактометрическое определение гранулометрического состава и агрегатного состояния и проведение компрессионных испытаний, направленных на определение сопротивляемости внешним механическим воздействиям.

**Ключевые слова:** физико-механические свойства почв; устойчивость почв; юг Сибири; лазерно-дифрактометрический метод; динамические нагрузки.

В настоящее время вопрос о том, каким образом вывести использование такого ценного природного ресурса, как почвы, на качественно иной уровень, щадящий с точки зрения экологии, но не менее продуктивный, стал особенно актуальным. Применение современных технологий и тяжёлой техники привело к практически повсеместному появлению признаков машинной деградации почвенных профилей и в итоге – к значительному снижению их плодородия. Так, ежегодные убытки от недобора урожая вследствие переуплотнения почв сельскохозяйственной техникой составляют в США, по различным оценкам, более 1,2 млрд долл. [1]. В нашей стране также проводились подобные исследования, показавшие важность этой проблемы. Установлено, что после трёх проходов МТЗ-50 по пахотной почве урожай кукурузы уменьшается на 3–6%, после шести проходов – на 17–20%, а после девяти – на 33%. Трёхкратный проход более тяжёлого трактора К-700 снижает урожай овса на 46% [2].

Решение проблемы возможно при уменьшении допустимых (предельных) нагрузок на почвы и сохраним при этом их продуктивности. Для этого необходимо проводить исследования реакции компонентов экосистем при приложении к ним подобных нагрузок и на основании полученных результатов рассчитывать и прогнозировать сбалансированное использование земельных ресурсов, не вызывающее отрицательных структурных и качественных изменений в агроценозах. То обстоятельство, что физическая организация почв (как одного из важнейших компонентов экосистем) определяет все их функциональные свойства и режимы, свидетельствует о приоритетном её значении при исследованиях почв. Более того, нарушение устойчивости почв к

механическим воздействиям во многих случаях приводит к изменению многих свойств и режимов почв, а в итоге – к нарушению функционирования экосистемы [3]. Исследование устойчивости почвы как основного компонента биогеоценозов и агроценозов к антропогенному воздействию с позиции способности сохранения её структуры и свойств при и после приложения механических нагрузок становится необходимым для обоснования рациональности осуществления заповедования территорий в целях сохранения эталонных ландшафтов, на которых возможно отслеживание как фоновых свойств, так и процессов восстановления экосистем, затронутых воздействием человека.

### Объекты исследования

В Сибири такому антропогенному воздействию в наибольшей степени подверглась её южная часть по причине благоприятных условий: относительно мягкий климат, большое количество сельскохозяйственных ресурсов, в том числе пахотных земель. Проблема изучения устойчивости почв к внешним воздействиям в данном регионе решается благодаря многолетним экспедиционным исследованиям по изучению местных экосистем и почвенного покрова, организованным на базе кафедры почвоведения и экологии почв Томского государственного университета.

Территория Минусинского межгорного прогиба представляет собой зону с особыми условиями почвообразования, характерными для значительной части степной территории юга Сибири, что в первую очередь обусловлено географическим расположением между горными системами Кузнецкого Алатау, Восточного и Западного Саяна [4]. Практически всю исследованную территорию занимают степные и лесостепные ландшафты, на которых преобладающим является чернозёмный тип почвообразования, испытывающий влияние местных особенностей климата, рельефа, почвообразующих пород, находящихся отражение в формировании целых комплексов сопряжённых почв, имеющих весьма специфичные свойства, не всегда характерные для чернозёмов, развивающихся в европейской части страны [5].

От Чулымо-Енисейской до Минусинской (Южно-Минусинской) впадины прослеживается влияние широтной зональности. Так, в северной части Чулымо-Енисейской впадины господствуют луговые степи. Южнее они сменяются настоящими степями, а в юго-восточной части Минусинской впадины появляются опустыненные степи. Широкое распространение имеют мелкодерновинные настоящие степи, занимающие как равнинные, так и склоновые местообитания с почвенным покровом из каштановых и южных чернозёмов [5]. Основу травостоя образуют мелкодерновинные засухоустойчивые злаки – овсяница, тонконог, ковыль, змеёвка, осока. Из разнотравья обычны вероника, астра, лук, полынь, эдельвейс и др. [6]. Каменистые степи приурочены к крутым склонам южных экспозиций и представляют собой разные стадии степных ассоциаций, которые, в свою очередь, зависят от степени накопления мелкозёма. В горной лесостепи северные склоны залесены и характеризуются высоким травянистым покровом. Древостой большей частью смешанный и представлен берёзой и лиственницей с небольшой примесью

осины. Подлесок хорошо развит и состоит из караганы, шиповника и кизильника.

Главным компонентом почвенного покрова юга Сибири, благодаря широкому распространению степных ландшафтов, являются черноземы. Частая встречаемость маломощных и малогумусных разновидностей черноземов – характерная особенность степных территорий [5]. Биологические процессы в них протекают интенсивно в течение весьма короткого периода, недостаточного для полной гумификации и минерализации органического остатка.

Среди чернозёмов доминирующее положение занимают обыкновенные, которые встречаются как на склонах, так и на выровненных поверхностях. Как правило, выражена приуроченность к луговым степям (на высоте 350–600 м), в составе которых, кроме луговых, встречается много степных видов растений. На делювиальных породах мощность их больше, чем на лессовидных и красноцветных элювиально-делювиальных породах. Они отличаются однородным строением профиля и, обычно, наличием карбонатов вблизи нижней границы гумусового горизонта; по содержанию гумуса делятся на малогумусные и среднегумусные, но встречаются и тучные с содержанием органического вещества до 11,4–14,2%, а по мощности – на маломощные и среднемощные.

В нижних частях склонов иногда присутствуют солонцеватые и осолодевшие обыкновенные черноземы, формирующиеся под разреженным или, напротив, очень мощным растительным покровом. Генезис таких почв чаще всего связан с засоленностью почвообразующих пород и привнесом соленосодержащих продуктов почвообразования с вышележащих элементов рельефа. В локальных понижениях или в местах сосредоточения временных водотоков с большим, по сравнению с окружающей территорией, поверхностным увлажнением встречаются луговато-чернозёмные почвы. Содержание органики в луговато-, лугово-чернозёмных почвах и солончаках варьирует от 7 до 10%, от 5 до 6 и от 0,5 до 3% соответственно.

Выщелоченные черноземы распространены не так широко и встречаются исключительно на периферии лесостепи – залесенных вершинах и крутых склонах северной экспозиции (на высоте 600–700 м). По содержанию гумуса выщелоченные черноземы юга Сибири относятся к среднегумусным (5,7–7,7%).

По гранулометрическому составу практически все черноземы являются среднесуглинистыми. Солончаки луговые и соровые (гидроморфные представители почвенного покрова) имеют тяжелосуглинистый и глинистый гранулометрический состав и слабовыраженное слоистое строение профиля. Практически повсеместно по профилю автоморфных почв наблюдается лишь незначительное увеличение содержания крупных фракций (1–0,05 мм). Средняя, мелкая пыль и ил распределены по профилям исследованных почв равномерно.

### Методы исследования

Учитывая значимость гранулометрического состава в формировании физической организации почв, изучение этого показателя проводилось двумя различными методами: седиментометрическим (методом Качинского) и методом лазерной дифракции. Была разработана и применена экспресс-методика оценки агрегатного состояния почв посредством лазерного дифрактометра SHIMADZU SALD. В отличие от седиментометрических методов, основанных на большом количестве условностей и приближений, лазерно-дифрактометрический метод позволяет получить представление о линейных размерах частиц [7, 8].

Получаемые результаты применимы для экспресс-оценки почв в рамках одного природного объекта и согласно классификационной принадлежности почв к гранулометрическим разновидностям, так как в тяжёлых почвах происходит значительное увеличение погрешности методики во фракциях физической глины (частицы с диаметром менее 0,005 мм) по причине особенностей данных, получаемых с помощью лазерного дифрактометра: значительное занижение по сравнению с седиментометрическими методами содержания ила (<0.001 мм) и увеличение содержания мелкой и средней пыли (0,005–0,001 и 0,01–0,005 мм) [9].

Следует отметить, что лазерно-дифрактометрический способ определения каких-либо структурных характеристик для почв, регистрируя в некоторых случаях отсутствие частиц размером менее 0,001 мм, не говорит о том, что в почвах их не содержится. Такие данные обусловлены результатом пробоподготовки, т.е. не была достигнута необходимая степень диспергации из-за постоянного образования лёгких, но не прозрачных для лазерного луча коллоидных оболочек на мелких частицах. Этот метод подчёркивает значимость и необходимость проведения наиболее полной диспергации. Тем не менее некоторые отклонения от данных седиментометрических методик можно объяснить физически иным принципом определения размеров частиц.

Гранулометрический состав является важной, но косвенной характеристикой степени устойчивости почв к механическим нагрузкам. Для непосредственного изучения этого свойства почв были проведены компрессионные испытания, направленные на изучение показателей устойчивости почв к внешним механическим нагрузкам, имеющие динамический характер. При воздействии таких нагрузок достигаемый почвами уровень деформации составляет лишь некоторую долю от деформации, отвечающей условиям длительных компрессионных испытаний; динамические воздействия способствуют возникновению деформаций в почве в первые секунды, следовательно, возможно проведение компрессионных испытаний и применение приборов, имеющих регулируемую скорость приложения нагрузки, таких как экстенциометр SHIMADZU AGS-J [9]. Результатом измерений становится база непрерывных данных, характеризующих поведение почвы под динамическими нагрузками в диапазоне от 0 до 21 килограмм-силы на сантиметр квадратный (кгс/см<sup>2</sup>). То есть после единственного цикла компрессионных испытаний стало возможно проведение расчётов влияния объектов различной массы с

разными скоростями движения по поверхности почвы, а именно по гумусово-аккумулятивному горизонту. Таким образом, зная удельные давления объектов, которые подвергнут почву динамической нагрузке, скорость их перемещения, возможно рассчитать конкретные величины усадок почвенных горизонтов, а принимая во внимание то, что деформации распространяются часто не только в рамках одного генетического горизонта, но и захватывают нижележащие, прибавляя к параметрам объекта усилие, которое прилагает к нижележащему горизонту вышележащий, возможен расчёт опосредованных деформаций и в нижних горизонтах.

Физико-механические свойства были охарактеризованы на основе результатов проведения компрессионных испытаний по ГОСТ 12248–96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» [10], согласно которому рассчитаны такие параметры физико-механических свойств, как усадка ( $S_i$ ) (величина изменения высоты образца (в %) после приложения к нему определённой внешней механической нагрузки, как правило, рассчитывается для давления в  $1 \text{ кгс/см}^2$ ) и коэффициент сжимаемости почвы ( $m_0$ ) [12].

### Обсуждение результатов

Гидроморфные почвы приозерных котловин юга Сибири (солончаки) показали самые высокие величины усадок ( $S_i$ ) при динамическом воздействии нагрузки в  $1 \text{ кгс/см}^2$  – величины колеблются от 10–15 до 24%. Это обусловлено, с одной стороны, утяжелением их гранулометрического состава и выраженной на этом фоне пластичностью и водонасыщенностью, характерной для засоленных почв, а с другой – большим количеством органического вещества в верхних органогенных генетических горизонтах. Таким почвам оказалась свойственна значительная вариабельность показателей объёмной плотности и содержания физической глины на фоне не меньшей вариабельности показателя сжимаемости почв. То есть наблюдается чётко выраженная взаимосвязь распределения величин некоторых физических и физико-механических свойств с положением их на поверхности участка и приуроченности к элементам рельефа. Неоднородная поверхность определяет неоднородность степени устойчивости почв к внешним воздействиям.

Почвы степных участков, даже несмотря на нередкое расположение в довольно расчленённой местности, отличаются высокой однородностью почвенного покрова по степени устойчивости, благодаря однородности физических и физико-механических свойств, во многом определяемых схожестью почвообразующих пород. Была выявлена значительная положительная корреляция ( $r = 0,89–0,94$ ) значений содержания гумуса относительно величин усадок. Это говорит о том, что на их величину в первую очередь влияет не зональный тип почвообразования непосредственно, а совокупность его с характером местных факторов, таких как положение на склоне, степень увлажнения в отдельные периоды года.

По величине коэффициента сжимаемости (он характеризует интенсивность сжимаемости), согласно шкале, предложенной в 1951 г. Н.А. Цытовичем [11],

все исследованные почвы относятся к излишне сжимаемым, что говорит о значительной доле участия органического вещества в образовании особой почвенной структуры, потому как подстилающим породам обычно свойственны значения этого коэффициента порядка  $0,01-0,001 \text{ кг/см}^2$ , для гумусово-аккумулятивных горизонтов степных почв он равен  $0,07-1,5 \text{ кг/см}^2$ .

Подводя итог, можно сказать, что почвы, формирующиеся в условиях степи, агрономически ценнее (более продуктивные), являются менее устойчивыми. Рыхлые, хорошо аэрируемые гумусово-аккумулятивные горизонты сильно подвержены переуплотнению при возникновении антропогенного влияния. На уровень бо́льшая совокупная устойчивость почв озерных котловин объясняется меньшим содержанием гумуса, высокой степенью их защищённости.

При интерпретации данных о физико-механических свойствах почв региона ценным является проведение работ по сопоставлению степени устойчивости к внешним механическим воздействиям каждой исследованной почвы по совокупности свойств с приуроченностью их к той или иной поверхности. Подобная работа была проведена на одном из участков Государственного заповедника «Хакасский».

Из-за фактического отсутствия адаптированной или созданной непосредственно для почв классификации (или градации) по величинам каких-либо физико-механических свойств все почвы участка условно были разбиты на три группы: первая – самые устойчивые почвы, с наименьшими значениями усадок, наибольшими коэффициентами сжимаемости и т.д., вторая – промежуточная, третья – самые неустойчивые почвы. Деление проводилось на основании изучения образцов гумусово-аккумулятивных горизонтов почвенных профилей из сорока семи точек, имеющих географическую привязку, на территории площадью 2,5 тыс. га. Пользуясь данными пространственной привязки каждого почвенного разреза, представители групп были нанесены сначала на космоснимок, а затем на план соответствующего кластерного участка государственного заповедника «Хакасский». Опираясь на тот факт, что приуроченность представителей групп совпала с элементами рельефа, были выделены границы зон распространения почв этих групп. Результатом стала схема участка, иллюстрирующая пространственное распределение величин степени устойчивости почв к внешним механическим воздействиям (рис. 1).

Для создания полноценной классификации почв по степени устойчивости необходимо продолжение работы в этом направлении, но относительное ранжирование отдельных территорий по таким признакам провести уже можно. По полученным схемам возможно прогнозирование поведения почв при антропогенном воздействии известного уровня.

Изучение физико-механических и физических свойств почв с использованием современных технологий и методик, в том числе и собственной разработки, позволило резко повысить информативность результатов исследований и сократить их длительность. Экспресс-методика оценки гранулометрического состава позволяет группировать на рекогносцировочном уровне значительно большие объёмы фактического материала за меньшее время.

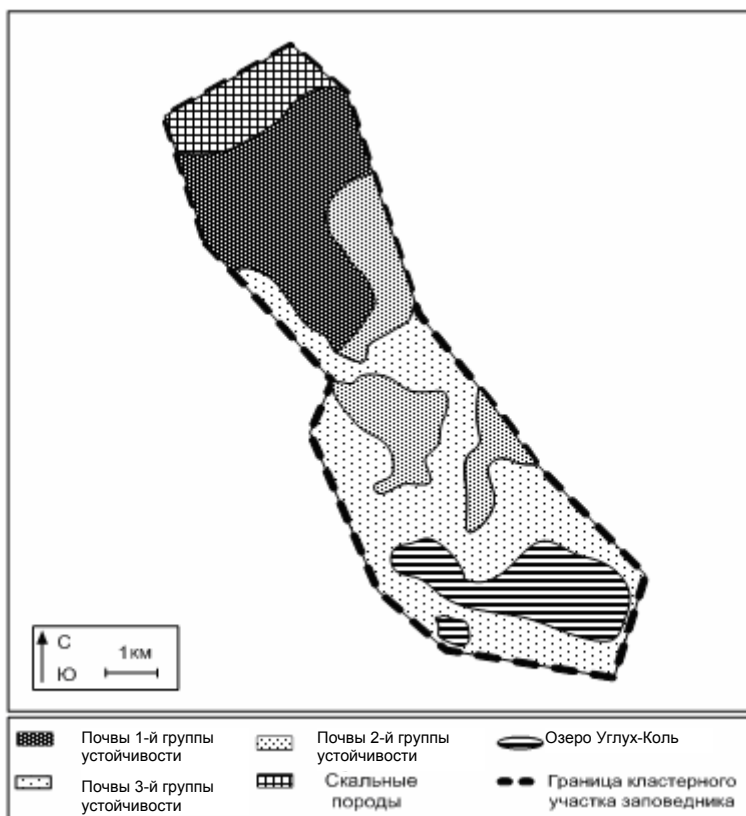


Рис. 1. Схема распределения почв участка «Камызякская степь» ГПЗ «Хакасский» по группам устойчивости к внешним механическим воздействиям

В ходе проведения компрессионных испытаний на экстенциометре создаются ёмкие базы данных результатов, с помощью которых становится возможным расчёт всего комплекса технологических свойств для динамически прикладываемых нагрузок. Обладая данными о характере поведения почв при приложении динамических нагрузок такого рода, возможны прогнозирование степени потери ценности сельскохозяйственных угодий после организации на нём постоянного или временного выпаса, а также расчёт и обоснование организации автодорог и ограничение проезда по степным участкам юга Сибири.

### Литература

1. Кулен А., Кулиперс Х. Современная земледельческая механика. М.: Агропромиздат, 1986. 349 с.
2. Сапожников П.М. Переуплотнение пахотных почв. М.: Наука, 1986. 418 с.
3. Росновский И.Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2001. 252 с.

4. *Геология и полезные ископаемые северной Хакасии* / Под ред. В.П. Парначева. Томск: Изд-во ТГУ, 1992. 166 с.
5. *Танзыбаев М.Г.* Почвы Хакасии. Новосибирск: Наука, 1993. 256 с.
6. *Куминова А.В.* Краткий очерк растительности // Природные сенокосы и пастбища Хакасской автономной области. Новосибирск: Наука, 1974. С. 32–59.
7. *Блохин А.Н.* Специфика лазерно-дифрактометрического определения гранулометрического состава почв // Материалы LVI научной студенческой конференции «Старт в науку». Томск: Изд-во ТГУ, 2008. С. 37.
8. *Блохин А.Н.* Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 1(5). С. 37–43.
9. *Блохин А.Н.* Физико-механические свойства почв и современные средства их изучения // Лесное хозяйство и зелёное строительство в Западной Сибири. Томск: Томский государственный университет, 2009. С. 16–20.
10. ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
11. *Цытович Н.А.* Механика грунтов. М.: Гос. Изд-во литературы по строительству и архитектуре. 1951. 528 с.

**Kulizhskiy Sergey P., Blohin Aleksandr N.**

*Biological institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia*

#### **PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS ON THE EXAMPLE OF THE HUMUS-ACCUMULATIVE SOIL HORIZONS SOUTH OF SIBERIA**

The text of the article highlights the state of steppe soils of the republic of Khakassia in the position of their resistance to mechanical stress. The possibility of a number of contemporary methodological approaches to the study of physical and physico-mechanical properties of the soil, such as laser-diffractometric grain size composition and physical state and conduct of compression tests to determine resistance to external mechanical influences.

**Key words:** physical and mechanical properties of soils; soil stability; and southern Siberia; laser-diffractometric method; dynamic load.