

**УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКТОМЕТРИИ**

*Описывается методика оценки агрегатного состояния почв, основанная на применении лазерного дифрактометра SHIMADZU SALD-201V. Приводится пример ее применения для экспресс-оценки почв в рамках одного природного объекта.*

**Ключевые слова:** почвы, методы, агрегаты, состав, структура почвы, лазерная дифрактометрия.

*A.N. Blokhin, E.Yu. Milanovsky, S.P. Kulizhsky*

**ACCELERATED TECHNIQUE FOR SOIL AGGREGATIVE STATE ESTIMATION BY MEANS OF LASER DIFFRACTOMETRY**

*The technique for soil aggregative state estimation based on the laser diffractometer SHIMADZU SALD-201V use is described. The example of its application for soil rapid estimation within single natural object is given.*

**Key words:** soils, techniques, aggregates, composition, soil structure, laser diffractometry.

Физическая организация почв, как одного из важнейших компонентов экосистем, определяет все их функциональные свойства и режимы, свидетельствует о приоритетном значении исследований почв в этом направлении.

Для определения размерности и количества частиц уже более 100 лет применяют приемы, основанные на разделении их при седиментации. Методы эти хорошо разработаны и широко используются.

Вместе с тем, за последние 10–15 лет интенсивно развивается, но в большей степени за границей, и все чаще используется для определения распределения частиц по размерам метод лазерной дифракции, в котором используется физический принцип флуктуации электромагнитных волн. Свет параллельного лазерного луча преломляется твердофазными частицами и отклоняется на фиксированные углы, которые зависят от диаметров и оптических свойств частиц. Так как каждый индивидуальный размер частиц локализует определенный угол рассеивания, расшифровка дифракционной картины позволяет рассчитать процентное содержание частиц разного размера. Сходящиеся в одной точке линзы фокусируют рассеянный свет в кольце на центральной панели, где детектор измеряет распределение световой энергии (спектр Фурье). Распределение частиц по размерам вычисляется в соответствии с теорией Фраунгофера по единой расчетной процедуре [1].

Одним из факторов, приводящих к существенной разнице определения содержания ила при проведении анализов седиментометрическим и лазерным дифрактометрическим (оптическим) методами, является применение завышенных значений плотности твердой фазы при расчетах скорости падения частиц, имеющих органогенную природу. В связи с этим во фракцию ила при традиционном анализе попадает значительное количество частиц размера мелкой пыли. Опираясь на тот факт, что при использовании лазерной дифрактометрии происходит оптическая регистрация истинных, фактических размеров частиц с высокой точностью, зачастую недоступной традиционным методам, эти данные можно принимать за наиболее приближенные к реальности. Кроме того, такой метод анализа почв более информативен: проводя повторное измерение в образце после разрушения в нем всей органической составляющей с помощью пероксида водорода, можно получить распределение органического вещества по фракциям [2].

Исходя из всего этого, логичным в перспективе может быть более широкое внедрение этого метода, насколько это позволяет пока его невысокая доступность, в почвенных исследованиях всех направлений с тщательной разработкой или заимствованием из других областей науки соответствующих методик, тем самым выходя на качественно новый уровень исследований.

Принимая во внимание то, что лазерный дифрактометр оперирует при измерении реальными линейными параметрами частиц, можно оценить возможность его применения при изучении микроагрегатного состава почв или при оценке общего агрегатного состояния почв.

Беря во внимание тот факт, что в рамках одного природного объекта, в отношении которого доподлинно заранее известно, что почвы на его территории достаточно схожи по принадлежности с гранулометрическими разновидностями или какие-либо значимые отклонения от общей картины отсутствуют, становится

очевидным применение упрощенных методик группировки почв по гранулометрическому и микроагрегатному составу при проведении различных массовых почвенных исследований.

Авторами данной работы была предложена одна из таких экспресс-методик, основанная на применении метода лазерной дифракции при изучении гранулометрического и микроагрегатного составов почв.

Целью работы являлось изучение агрегатного состояния почв при проведении массовых рекогносцировочных исследований в рамках одного природного объекта. Исходя из этого решались задачи применимости и перспективности экспресс-оценки на основе результатов анализов, полученных с помощью лазерного дифрактометра SHIMADZU SALD-201V.

Материалом для выполнения данной работы послужили почвенные образцы, погоризонтно отобраные из 70 почвенных разрезов, заложенных в течение двух полевых сезонов работы экспедиций, организованных кафедрой почвоведения и экологии почв Томского государственного университета в государственный природный заповедник «Хакасский» Республики Хакасия.

Почвенный покров исследованных кластерных участков заповедника «Оглахты» и «Камызяк» представлен следующими типами почв: черноземы южные, черноземы обыкновенные, черноземы выщелоченные, темно-каштановые, лугово-черноземные, луговато-черноземные, солонцы автоморфные, солончаки соровые.

Доминирующими почвами являются черноземы. Преобладающие обыкновенные и южные черноземы располагаются на повышенных участках северных и северо-восточных склонов и на выровненных – под луговой и степной злаково-разнотравной растительностью. Выщелоченные черноземы занимают высокие отметки склонов. По вершинам холмов, сопок располагаются неполноразвитые почвы под сообществами ксеропетрофитов. В понижениях и заболоченных участках развиваются засоленные и луговые почвы.

Испытаниям, направленным на исследование гранулометрического состава и в дальнейшем оценку агрегатного состояния изучаемых почв, подвергались по два образца из каждого почвенного разреза, характеризующих его гумусово-аккумулятивную и иллювиальную части. Этим парным образцам присваивались порядковые цифровые обозначения в соответствии с их положением относительно поверхности почвы.

Для достижения поставленной цели, а именно: для рассмотрения применимости предлагаемой экспресс-методики в почвенных исследованиях необходимо продемонстрировать стабильность получаемых результатов (повторяемость) и возможность их сравнения с результатами классических седиментометрических методов (например, анализ гранулометрического состава методом пипетки Качинского). В рамках данной работы этот вопрос был решен параллельным определением гранулометрического состава в почвенных образцах двумя методами: методом пипетки Качинского и методом лазерной дифракции в собственной модификации.

Пробоподготовка и расчет получаемых результатов при пипет-анализе проводились в соответствии с методическими рекомендациями [3].

При проведении лазерно-дифрактометрического анализа была предложена оригинальная система пробоподготовки, позволяющая оперативно осуществлять условную оценку агрегатного состояния почв, в рамках одного природного объекта [4].

Главными принципами, определяющими целесообразность разработки и применения упрощенной методики оценки агрегатного состояния, являются скорость проведения оценки и достоверность получаемых результатов. Исходя из этих принципов, методика подготовки пробы была максимально, насколько это позволяет специфика использования лазерного дифрактометра, ускорена и упрощена.

Методы, используемые в работе, были как традиционные для подобного рода исследований в почвоведении, так и разработанные (или усовершенствованные) авторами. В основу дальнейшего анализа брались показания лазерного дифрактометра SHIMADZU SALD-201V.

Почва подвергалась минимальному механическому разрушению, стандартному для всех образцов во времени и усилию. Полученный образец в количестве, не вызывающем сильное замутнение суспензии (при лазерной дифрактометрии это главенствующее требование к суспензии), а это порядка нескольких десятых долей грамма [5], смачивали, а затем, добавив дистиллированной воды в колбу, взбалтывали 2 мин. Приготовленной суспензией заполняли циркуляционную систему дифрактометра и производили замер. Далее данные передавались непосредственно в среду редактора Microsoft Office Excel, где с помощью программного обеспечения и применения нескольких несложных операций получился набор необходимых графиков или массивов числовых данных [5, 6].

На один образец вместе с измерениями уходило порядка 10 мин, что значительно быстрее классических методик.

Получаемые вышеуказанным образом данные можно отнести скорее к микроагрегатному составу почв, чем к гранулометрическому, но это снимает возможности проведения параллелей между результатами экспресс-методики и данными седиментометрического метода. Это обусловлено самим физическим принципом лазерно-дифрактометрического анализа [2, 5, 6].

Для обеспечения сравнимости получаемых результатов с результатами пипет-метода был осуществлен регрессионный анализ, по итогам которого выведена регрессивная зависимость результатов двух методик, позволяющая проводить математическое преобразование.

Результаты анализа, проведенного с использованием лазерного дифрактометра, как и предполагалось, показали значительные отличия в содержаниях фракций 0,25–0,05, 0005–0,001 и <0,001 мм (рис. 1).

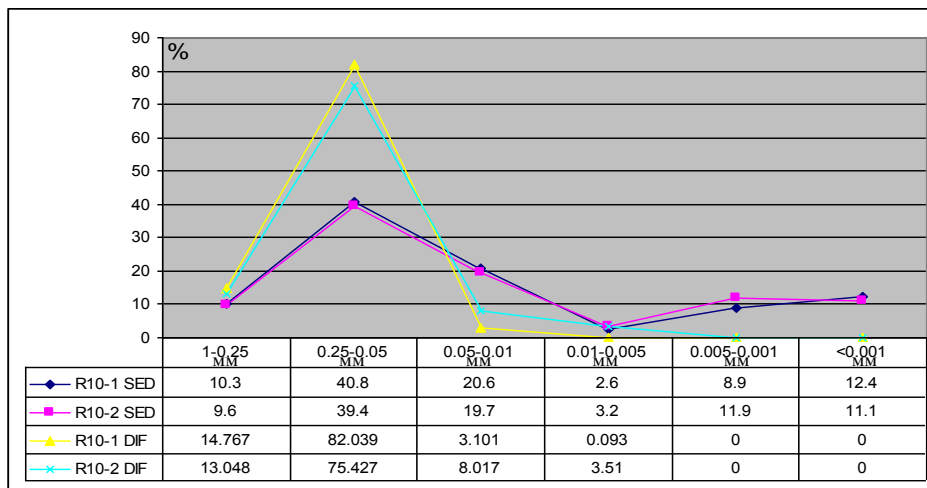


Рис. 1. Сравнение данных гранулометрического и микроагрегатного составов, полученных двумя различными методами: седиментационным (SED) и дифрактометрическим (DIF) для чернозема южного малогумусного маломощного супесчаного (R10)

Прибор не зарегистрировал частиц мелких фракций, что говорит не об их отсутствии, а о незначительности их содержания в общей навеске, что, в свою очередь, следует из характера пробоподготовки образцов. Не произошло разрушения почвенных агрегатов и микроагрегатов из-за слишком мягкой обработки почвы, выполняющей требования методики проведения микроагрегатного анализа. Данное обстоятельство также позволяет говорить об агрегатном (в данном случае микроагрегатном) состоянии исследуемых почв.

На графике (см. рис. 1) приведены результаты испытаний в сравнении с результатами гранулометрического анализа в соответствующих горизонтах. Кроме того, для этих парных выборок были посчитаны коэффициенты корреляции, которые показали значительную степень линейной статистической связи между ними ( $r = 0,97–0,98$ ).

Однако проведенный регрессионный анализ в отношении всего массива исследованных парных выборок указал на тот факт, что зависимость между ними носит, скорее всего, не линейный, а экспоненциальный характер. На этом основании была установлена математическая связь между результатами измерения, которую можно продемонстрировать следующим выражением:

$$SED_{\text{прогн}} = 5,5181 * \exp(0,026 * DIF),$$

где  $SED_{\text{прогн}}$  – прогнозируемое содержание фракции в результате проведения седиментометрического анализа гранулометрического состава почвы;  $DIF$  – содержание соответствующей фракции по результатам экспресс-оценки агрегатного состояния на лазерном дифрактометре.

Данное выражение позволяет в некоторых случаях, имея данные экспресс-оценки агрегатного состояния почв, с определенным приближением прогнозировать показания седиментометрического анализа гранулометрического состава.

Существенным ограничением в применении этого способа становится его некомпетентность при работе с тяжелосуглинистыми и глинистыми почвами, так как показания лазерного дифрактометра после

фракции 0,01–0,005 мм стремятся к нулю, а это обстоятельство лишает выборку информации о более мелких фракциях, и прогнозирование их содержания возможно лишь с большой погрешностью и с исключением каких-либо эксцессов в их содержании, то есть отклонений от экспоненциального распределения, характерного для верхнего диапазона фракций. На рисунке 2 отражен один из примеров неприменимости или большой погрешности такой аппроксимации результатов экспресс-методики.

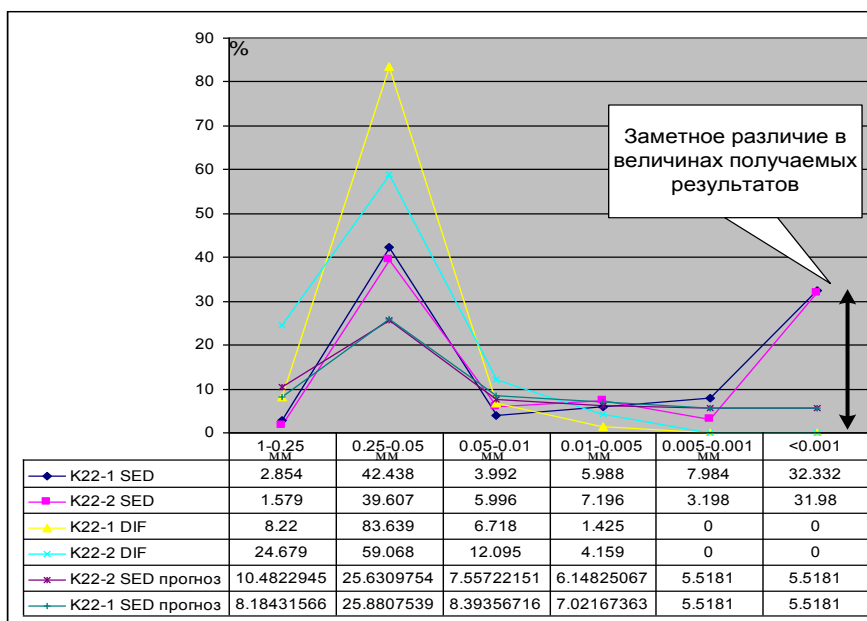


Рис. 2. Данные, полученные различными методами: седиментационным (SED), дифрактометрическим (DIF) и прогнозным (SED прогноз) для луговато-черноземной среднесиловой тяжелосуглинистой (K22)

Наличие таких различий в содержании фракций менее 0,005 мм говорит об ограниченности применения этого способа для тяжелых по гранулометрическому составу почв.

### Выводы

1. Лазерно-дифрактометрический способ определения структурных характеристик для почв, регистрируя в некоторых случаях отсутствие частиц размером менее 0,001 мм, не может являться доказательством того, что в почвах не содержится агрегатов такого размера.

2. Подобные результаты обусловлены недостаточно полной дисперсией в результате пробоподготовки, что подчеркивает значимость и необходимость проведения тщательного разрушения агрегатов. Тем не менее, некоторые отклонения от данных седиментометрических методик можно объяснить физически иным принципом определения размеров частиц.

3. В целом же, при работе с супесчаными, песчаными, легко- и среднесуглинистыми почвами наблюдается удовлетворительная точность для проведения сравнения почв по агрегатному и гранулометрическому составу в рамках одной территории.

### Литература

1. Блохин А.Н., Кулижский С.П. Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2009. – №1. – С. 37–44.
2. Шейн Е.В., Милановский Е.Ю., Молоч А.З. Гранулометрический состав: роль органического вещества в различиях данных седиментометрического и лазерно-дифрактометрического методов // Докл. по экологическому почвоведению. – М., 2006. – № 1. – Вып.1. – С. 17–29.
3. Кулижский С.П. Гранулометрический и микроагрегатный анализы почв: метод. рекомендации. – Томск: Изд-во ТГУ, 1996. – 22 с.

4. Кулжский С.П., Блохин А.Н. Использование данных о физико-химических свойствах почв юга Сибири при оценке устойчивости к внешним воздействиям // Вестн. Томского гос. ун-та. – 2009. – №3. – С. 95–102.
5. Блохин А.Н. Специфика лазерно-дифрактометрического определения гранулометрического состава почв // Старт в науку: мат-лы LVI науч. студ. конф. – Томск: Изд-во ТГУ, 2008. – С. 37.
6. Блохин А.Н. Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. – 2009. – № 1(5). – С. 37–43.



УДК 631.40

Ю.П. Ковалева, В.В. Чупрова

### БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА В ЗАЛЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КОЙБАЛЬСКОЙ СТЕПИ МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

*Обсуждается количественная оценка бюджета углерода в разновозрастных залежах Койбальской степи Минусинской котловины.*

*Выявлено, что залежи бурьянистой и корневищной стадий восстановления характеризуются положительным балансом углерода, залежи дерновинных стадий восстановления – отрицательным.*

**Ключевые слова:** углерод, экосистема, сукцессии, запасы, потоки, растительного вещества, степь, Минусинская котловина.

Yu.P. Kovaleva, V.V. Chuprova

### CARBON BUDGET IN THE DEPOSIT ECOSYSTEMS OF THE KOIBALSK STEPPE IN THE MINUSINSK HOLLOW

*Quantitative estimation of carbon budget in the mixed-age deposits of the Koibalsk steppe in the Minusinsk hollow is discussed. It is revealed that deposits of the wild grass and rhizomatous stages of restoration are characterized by positive carbon balance but deposits of the sod stages of restoration are characterized by negative one.*

**Key words:** carbon, ecosystem, successions, stocks, streams, vegetative substances, steppe, the Minusinsk hollow.

---

**Введение.** Постагрогенные трансформации на залежах идут в направлении формирования зональных типов экосистем по классическим схемам [3, 5, 6, 8, 9]. Это сопровождается изменением почвенного плодородия, степени аккумуляции биогенных элементов, соотношением между выносом и поступлением элементов в системе растение-почва-атмосфера [4, 10, 11].

**Цель исследования:** оценка бюджета углерода в разновозрастных залежах Койбальской степи Минусинской котловины.

**Задачи:**

1. Оценить запасы С в различных блоках растительного и почвенного органического вещества залежных экосистем.
2. Дать количественную оценку потокам в продукционном и деструкционном звеньях круговорота углерода.
3. Определить баланс углерода в разновозрастных залежах Койбальской степи.

**Объекты и методы.** Объектами исследования являются залежные экосистемы, расположенные в Койбальской степи Минусинской котловины. На них было заложено четыре пробных площади (ПП), соответствующих основным стадиям восстановления залежной растительности степной зоны – бурьянистой, корневищной и дерновинной [3, 5, 7, 8, 9, 12].

ПП 1 – залежь 9–12 лет дерновинной стадии восстановления. Почва – агрочернозем текстурно-карбонатный типичный мелкий малогумусированный супесчаный на супесчаных аллювиальных отложениях. Растительность представлена холодно-попынным фитоценозом.