

На правах рукописи

Черн

**Чернышова Надежда Владимировна**

**Почвообразование под культурами сосны обыкновенной на техногенных  
отвалах вскрышных пород лесостепи Назаровской котловины**

03.02.13 – почвоведение

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Новосибирск – 2019

Работа выполнена кафедре почвоведения и агрохимии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель:

**Шугалей Людмила Степановна**  
доктор биологических наук, профессор  
кафедры почвоведения и агрохимии  
ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»

Официальные оппоненты:

**Дымов Алексей Александрович**  
доктор биологических наук,  
и.о. ведущего научного сотрудника  
отдела почвоведения Института биологии  
Коми научного центра УрО РАН –  
обособленного подразделения ФГБУН  
ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН»  
**Соколов Денис Александрович**  
кандидат биологических наук, старший  
научный сотрудник лаб. рекультивации  
почв ФГБУН Институт почвоведения и  
агрохимии СО РАН

Ведущая организация:

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН –  
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ  
СО РАН

Защита состоится 19 декабря 2019 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 003.013.01 при ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН по адресу: 630090, Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 8/2, ИПА СО РАН; тел./факс (383) 363-90-25; e-mail: [soil@issa-siberia.ru](mailto:soil@issa-siberia.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИПА СО РАН <http://issa-siberia.ru> и на официальном сайте ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
канд. биол. наук



Т.И. Сиромля

**Актуальность темы.** Создание топливно-энергетического комплекса на территории Назаровской котловины и широкое использование открытого способа добычи угля сопровождается уменьшением почвенного покрова сельскохозяйственного фонда, сокращением лесов, ухудшением гидрологических и санитарно-гигиенических условий региона, нанесением непоправимого ущерба природным ландшафтам.

Создание на нарушенных землях сбалансированных биогеоценозов (экосистем) возможно только при формировании тесно связанных основных компонентов биосферы – фитоценозов и почв.

Лесостепи Красноярского края занимают всего 7% территории края, где проживает более 58% населения, производится 65% промышленной и 40% сельскохозяйственной продукции Восточно-Сибирского экономического района. В результате антропогенного воздействия лесистость здесь снижена до 5-40%. Сельскохозяйственная освоенность ландшафтов региона выше, чем в европейской части России и составляет 40-68%. Здесь получают самые высокие (>40 ц/га) в Восточной Сибири урожаи основной продовольственной культуры – пшеницы. Экологическая оптимизация ландшафтов и сохранение земель сельскохозяйственного фонда возможна лишь при использовании под лесные культуры неудобных и непригодных для сельскохозяйственного производства территорий. Сотрудниками института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН установлено, что экологическая оптимизация ландшафтов региона возможна лишь при достижении лесистости не менее 20%, в настоящий период она снижена в отдельных ландшафтах до 5-16% (Леса КАТЭКа как фактор стабилизации окружающей среды, 1983). Систематические рубки леса на территории Назаровской котловины в настоящий период не ведутся, но добыча угля приводит к уничтожению лесных колков, на долю которых приходится около 15% нарушаемой территории. Увеличение облесенности территории возможно только за счет создания лесных культур на отвалах вскрышных пород и посадки леса на горном обрамлении котловины. Актуальность решения проблемы рекультивации технически нарушенных земель не вызывает сомнений и заключается в решении вопросов экологической оптимизации ландшафтов. Сохранение земель сельскохозяйственного фонда и вопросы экологической оптимизации ландшафтов региона тесно связаны. Исследования радикально нарушенных экосистем при добыче угля открытым способом в Сибири проводились ранее (Трофимов и др., 1977; 1979; Трофимов, 1989) и показали возможность создания лесных культур на отвалах вскрышных пород без нанесения гумусного слоя.

Исследований по восстановлению нарушенных территорий в Красноярском крае до недавнего времени не проводилось.

**Цель наших исследований** – изучить современное почвообразование в культурах сосны обыкновенной, созданных на технически рекультивированных отвалах вскрышных пород без нанесения плодородного слоя.

**Задачи:**

- установить основные физико-химические свойства инициальных почв, формирующихся под культурами сосны;

- определить компонентный и фракционный состав углеродного и азотного фондов инициальных почв и установить их взаимосвязь;

- изучить экологическое состояние разновозрастных культур сосны, на отвалах вскрышных пород, созданных различными техническими способами формирования.

**Научная новизна.** Впервые получены научные материалы по формированию профиля инициальных почв в регионе. Изучен компонентный состав углеродного и азотного фондов инициальных почв. Показано, что компонентный и фракционный состав углерода имеет сложное строение и включает лабильные, подвижные и стабильные формы. Азотный фонд тесно связан с формированием углерода и включает негидролизуемые, трудногидролизуемые, легкогидролизуемые и минеральные формы. Определена аммонифицирующая и нитрифицирующая способность и дана оценка обеспеченности формирующихся культур сосны азотом.

**Защищаемые положения:**

1. Почвообразование под культурами сосны, созданными на технически рекультивированных отвалах вскрышных пород, идет по лесному типу. За годы произрастания сосны на техногенно-поверхностных образованиях сформировались подстильно-торфяные горизонты, соответствующие одновозрастным естественным соснякам, и маломощные (3-10 см) аккумулятивные горизонты.

2. На данном этапе своего развития инициальные почвы по своему морфологическому облику близки к серым почвам под культурами сосны.

3. Основная масса азотного фонда инициальных почв представлена негидролизуемыми и трудногидролизуемыми фракциями. Аккумуляция азота в хвое сосны свидетельствует о благоприятных экологических условиях ее произрастания на инициальных почвах.

**Теоретическая значимость** Фактические данные по состоянию растительного и почвенного покрова на технических отвалах вскрышных пород, взаимосвязь с окружающими естественными колковыми биогеоценозами и агроценозами могут быть использованы при решении теоретических проблем педоэволюции: темпы развития основных компонентов биосферы, фитоценозов и почв, и их взаимосвязь с пространственной структурой ландшафтов.

**Практическое значение.** Материалы диссертации можно рассматривать как количественную и качественную оценку процессов формирования гумуса и азотного фонда отвалов вскрышных пород, использовать технически рекультивированные отвалы для создания культур сосны и разработки модификаций и приемов оптимизации экологического состояния территории региона.

Формирование блоков органического вещества и азотного фонда искусственных лесных биогеоценозов региона является основным решением проблемой рекультивации нарушенных земель. Представленные научные данные являются первыми и требуют продолжения и углубления исследований.

Полученные научные выводы по формированию почвенного покрова на техногенных отвалах вскрышных могут быть использованы:

- при преподавании дисциплин биологического, географического и экологического профиля в высших учебных заведениях;

- пополнить рекомендации научных организаций и экологического отдела СУЭК новыми данными о почвах и растительном покрове региона, что позволит оценить влияние разновозрастных культур сосны на формирование почвенного покрова в техногенных ландшафтах и способствовать ускорению развития мероприятий по экологической оптимизации территории региона.

**Апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 13 работ, 4 из которых в изданиях, включенных в перечень ВАК. Результаты исследований докладывались на: I Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока» (Красноярск, КрасГАУ, 2014), IX Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития Российской науки» (Красноярск, 2016), IX Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул, 2014), V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ «Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове» (Томск, 2015).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Общий объем составляет 121 страницу. Диссертация содержит 25 таблиц и 10 рисунков. Список литературы включает 185 наименований, в том числе 16 – на иностранных языках.

**Личный вклад автора** состоит из участия в составлении программы исследований, проведении полевых и лабораторных исследований, обобщении и обработке результатов, интерпретации полученных данных, подготовке и написании статей и диссертации.

**Благодарности.** Автор выражает благодарность к. б. н. В.С. Борцову, мастеру по учебе кафедры почвоведения и агрохимии Ф.Ф. Сырыгиной за помощь в проведении лабораторных исследований, а также всем сотрудникам кафедры почвоведения и агрохимии за ценные советы и моральную поддержку.

## **Глава 1. Проблемы рекультивации нарушенных земель (обзор литературы)**

На наиболее освоенной человеком территории возникают природно – техногенные ландшафты, в значительной степени определяющие экологическую ситуацию региона (Рагим–заде, Трофимов, 1977; Трофимов, Наплекова, Кандрашин и др., 1985). Сотрудниками института почвоведения и агрохимии (СО РАН) разработана классификация нарушенных почв и изучено их биологическое состояние (Гаджиев, Курачев, 1992; Курачев, 1998; Курачев, Андроханов, 2002;

Андроханов, Курачев, 2009; Андроханов, 2009; 2012; 2016; Андроханов, Соколов, 2012; Артамонова, Андроханов и др., 2012).

Актуальность и необходимость рекультивации обусловлена прогрессирующим увеличением площадей нарушенных земель, а приоритетность ее лесного направления определяется высокими преобразовательными функциями древесной растительности, способствующими ускорению почвообразовательного процесса и восстановлению экологического баланса территории (Шугалей, 1997; Шугалей и др., 1984; 1985; 2006).

## **Глава 2. Экологические условия Назаровской котловины**

Исследования проводились на территории Назаровской котловины. Климат региона континентальный и определяется его положением на стыке горных систем Южной Сибири (хр. Арга, Солгонский кряж, Кузнецкий Алатау) и Западно-Сибирской низменности, а так же циркуляцией атмосферы. Средняя температура воздуха в январе  $-16^{\circ}$ ;  $-20^{\circ}$ , в июле  $17-18^{\circ}\text{C}$ . Сумма выше  $10^{\circ}$  составляет  $1500 - 1700^{\circ}$ , а продолжительность периода  $100 - 110$  дней. Годовое количество осадков  $370-420$  мм.

Назаровская впадина сложена породами девона, карбона, юры и мела, которые перекрываются четвертичными отложениями различной мощности и разнообразны по генезису: суглинисто-щебнистые, лессовидные, карбонатные, желто-бурые суглинки и глины.

Естественный растительный покров лесостепного пояса, где располагается угольный разрез, представлен чередованием участков степи и мелколиственных лесных массивов.

В структуре почвенного покрова преобладают черноземы и темно-серые лесные почвы.

## **Глава 3. Объекты и методы исследований**

Объектами исследования являются технически рекультивированные отвалы вскрышных пород.

Восточный гидроотвал формировался в 1949-1955 гг. гидравлическим смывом вскрыши Назаровского угольного разреза в понижение. В настоящий период представляет плакорную территорию, в центре которой на площади  $5,6$  га в 1971 г. высажены культуры сосны, густота посадки  $2880$  экз га $^{-1}$ .

Сереженский гидроотвал занимает часть старой поймы р. Сереж, площадь  $6$  га, в 1981 г. высажены культуры сосны, густота посадки  $1200$  экз га $^{-1}$ .

Бестранспортный отвал создан экскаватором и представляет плакорную возвышенность в окружении грядообразных и конусных холмов, понижения между ними заполнены водой, культуры сосны высажены в 1985 г., площадь  $6$  га, густота посадки  $2941$  экз га $^{-1}$ .

На агросерых почвах хр. Арга культуры сосны высажены в 1972 г., площадь  $5$  га, густота  $2360$  экз га $^{-1}$ .

Растения высаживались механизированным способом в борозды, нарезанные плугом ПКЛ – 70, с помощью машины СЛН – 1. Часть культур на Восточном и Сереженском гидроотвалах была уничтожена пожарами (в 1999-2000 г.г.), а на агросерых почвах – при строительстве дороги и в результате рубки ухода.

Проведенное в 2014 г морфотаксационное обследование культур сосны на отвалах показало, что по высоте и диаметру они соответствуют одновозрастным соснякам естественного происхождения. На основании таксационных параметров и использования конверсионных коэффициентов были рассчитаны запасы древесины и фитомассы древостоев (Стаканов и др., 1994). В 2013 году были проведены санитарные рубки в культурах сосны на Восточном, Сереженском гидроотвалах и агросерых почвах. Культуры сосны имеют Ia и I класс бонитета (табл. 1).

Таблица. 1 Морфо-таксационная характеристика древостоев культур сосны, т·га<sup>-1</sup>

Параметры	Восточный гидроотвал	Сереженский гидроотвал	Бестранспортный отвал	Агросерая почва
Биологический возраст, лет	45	35	31	44
Полнота древостоев, экз.	1548	960	2646	1652
Высота, м	17,3	15,8	12,3	11,2
Диаметр, см	17,6	16,6	11,8	11,4
Запас древесины, м <sup>3</sup>	471	253	383	258
Фитомасса древостоя, т·га <sup>-1</sup>	193,5	103,6	117,2	86,3
Класс бонитета	Ia	I	I	I

Учет запасов органического вещества подстильно-торфяного горизонта проводился по общепринятым методикам шаблоном (0.03 м<sup>2</sup>), минеральные слои отбирали в этих же точках в 10-кратной повторности 0-10, 10-20, 20-40 см. Фракционный состав подстильно-торфяного горизонта разбирался на ситах с ячейками 3, 2, 1 см (Карпачевский и др., 1980).

Растительные образцы отбирались по методике Вермана (Wehrmann, 1959). На каждой пробной площади у 10 сосен в конце вегетационного периода срезались верхние побеги текущего года.

Определение химического состава растительных и почвенных образцов проводилось при использовании измерительного комплекса PSCO/ISI IBM-PC 4250, работающего на основе диффузного отражения в ближней ИК-области спектра (Борцов, 2002).

Фракционный состав азота определялся титриметрическим методом с помощью щелочного гидролиза по Корнфильду.

Негидролизуемый определялся вычитанием суммы трудногидролизуемого, легкогидролизуемого и подвижных фракций из валового.

Аммоний и нитраты в 0.03 н  $K_2SO_4$  вытяжке с последующим определением: с реактивом Несслера и с дисульфифеноловой кислотой (Аринушкина, 1971).

Аммонифицирующая и нитрифицирующая способность инициальных почв определялась по разработкам Кравкова в модификации Болотиной при 2-4-х недельном компостировании при  $t\ 28^\circ$ , влажности 60% ПВ (Шконде, Королева и др., 1964; Агрохимические методы исследования..., 1975).

Содержание валового углерода определялось по Тюрину (Аринушкина, 1970).

Подвижные формы углерода в вытяжках  $H_2O$  и 0.1 NaOH (Пономарева, Плотникова, 1975; Когут, 1987 а, б).

Продуцирование техногенными поверхностными образованиями (ТПО)  $CO_2$  и целлюлозоразлагающая способность устанавливались в лабораторных условиях. Биомасса микрофлоры почв определялась хроматографическим методом через субстрат-индуцированное дыхание (СИД) с последующим пересчетом на углерод микробной биомассы  $C-CO_2$  с помощью уравнения  $C_{мик} (мкг\ C / г\ почвы) = 50.4 \cdot СИД (мкг\ C-CO_2 / г\ почвы / ч)$  (Методы..., 1991; Sparling et al., 2005).

Целлюлозоразлагающую активность почв определяли аппликационным методом Мишустина и Петровой (Аристовская, Худякова, 1977; Безкорвайная и др., 2016).

Физические свойства (объемная масса, удельная масса, гранулометрический состав) инициальных почв определялись по Качинскому, макроагрегатный состав – по Саввинову (Агрофизические методы...),. Статистическая обработка материалов проведена с помощью программ Statistica и Excel.

## **Глава 4. Почвообразование в культурных лесных массивах на отвалах**

### **4.1. Формирование морфологического облика инициальных почв**

На хаотичных смесях вскрышных и вмещающих пород технически спланированных отвалов под культурами сосны выделена группа натурфабрикатов, подгруппа ТПО – литостратов (Классификация..., 2004).

ТПО имеют следующий морфологический облик: О-АУ-С (С1, С2, С3 и т.д.), что определяется главным образом малой продолжительностью срока биопедолитогенного преобразования породы.

Натурфабрикаты характеризуются выраженностью органо-генных и органо-минеральных горизонтов и отражают ведущую роль биологических процессов в формировании почв и генетическую подчиненность всех других почвообразующих процессов.

В инициальных почвах на отвалах под посадками сосны наблюдается аккумуляция органического вещества в виде слаборазложившегося и слабо дифференцированного подстильно-торфяного горизонта. Аккумулятивный горизонт АУ имеет небольшую (3-10 см) мощность и слабо прокрашен гумусом. В инициальных почвах еще не обозначаются срединные генетические горизонты. Органо-генный и серогумусовый аккумулятивные горизонты лежат прямо на



почвообразующей породе, содержащей кроме мелкозема – дресву, слабо-выветрившиеся обломки вмещающих пород (алевролитов, аргиллитов, щебня, угля).

#### 4.2. Физические свойства

Гранулометрический состав почв техногенных ландшафтов Назаровской котловины – продукт физического выветривания почвообразующих пород естественных почв, некогда занимавших территорию угольного разреза и унаследованного гранулометрического состава глубинных вскрышных пород.

Формирование водопрочной структуры техногенных почв определяется количественным и качественным составом лабильного углерода и тесно связано с формированием гумусной системы инициальных почв.

Высокая удельная масса свидетельствует о кварцевом составе песчаных фракций, а низкая объемная масса и высокая порозность – о рыхлой упаковке. Агросерые почвы, сформировавшиеся на желто-бурых карбонатных глинах хр. Арга, имеют более плотное сложение по сравнению с отвалами, что обусловлено особенностями горного почвообразования и длительным (>40 лет) сельскохозяйственным использованием территории.

#### 4.3. Химические свойства

Элементный химический состав грунтовой смеси и распределение элементов по глубинам унаследованы от грунтов, слагающих вскрышу. Однако первый этап рекультивации способствовал формированию некоторых различий в распределении химических элементов в грунтовой толще. Так, ТПО, сформированные на гидроотвалах, имеют близкое содержание оксидов Si, Al и Fe и равномерное распределение их по профилю минеральной толщи. Отношение  $SiO_2:R_2O_3$  указывает на несколько повышенное в верхней толще литостратов  $SiO_2$  и  $Fe_2O_3$ .

Пространственная изменчивость элементного состава характеризуется следующими коэффициентами варибельности:  $SiO_2$  3-23%,  $Al_2O_3$  6-21%,  $Fe_2O_3$  10-25%, CaO 35-41%, Mg 16-28%.

Валовой состав грунтов на Бестранспортном экскаваторном отвале отличается повышенным содержанием  $SiO_2$  и пониженным  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ . Различия в химическом составе субстратов обусловлены, вероятно, мощностью слоев пород, слагающих вскрышу, и слабой интенсивностью перемешивания их при экскаваторном формировании отвалов. Пространственная изменчивость химических элементов здесь составляет:  $SiO_2$  3%,  $Al_2O_3$  12-28%,  $Fe_2O_3$  23-48%, CaO 29-45%, MgO 41-53%. Гумусообразованием в минеральном слое субстрата затронута толща 2-10 см. Содержание углерода 4.24%, емкость обмена Ca - 18.57, Mg – 6.10 мг\*экв/100 г,  $pH_{H_2O}$  – 6.10,  $pH_{KCl}$  5.34, гидролитическая кислотность – 8.83 мг\*экв/100г.

Агросерые почвы хр. Арга имеют выраженный морфологический облик, обусловленный длительным периодом почвообразования и особенностями

условий формирования горных почв. Отношение  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$  близко отношению в инициальных почвах гидроотвалов. Пространственная изменчивость химических элементов здесь составляет  $\text{SiO}_2$  2.99-22.82%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2.91-22.49%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  10,82-25.50%,  $\text{CaO}$  35.08-41.12%,  $\text{MgO}$  15.95-28.13%. Подстильно-торфяные горизонты различаются количественным и качественным составом мортмассы, что обусловлено возрастом, густотой древостоев, напочвенным покровом. Содержание углерода 1.98%, обменных оснований  $\text{Ca}$  – 42.28,  $\text{Mg}$  – 9.48 мг\*экв/100 г,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  – 6.35,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5.39, гидролитическая кислотность – 32.67мг\*экв/100г.

#### **4.4. Биологическая активность**

В качестве интегральных показателей потенциальной биологической активности формирующихся почв использовались целлюлозоразлагающая способность и интенсивность продуцирования  $\text{CO}_2$  в лабораторных условиях (табл. 2, 3) (Методы, 1991).

Результаты свидетельствуют о высокой пространственной изменчивости целлюлозоразлагающей способности на всех вариантах. Так, вариабельность здесь только в единичных случаях составляла около 40%, а часто превышает 50-70%, а иногда достигает 145%. На агросерых почвах хр. Арга пространственная изменчивость значительно выровнена и составляет 33-55%.

Интенсивность продуцирования литостратами и агросерыми почвами  $\text{CO}_2$  имеет существенно более низкую пространственную изменчивость в сравнении с целлюлозоразлагающей способностью, что является следствием формирования подстильно-торфяного и аккумулятивного горизонтов под лесными культурами.

Таким образом, интегральные показатели биологической активности почв целлюлозоразложение и интенсивность «дыхания» не только достаточно объективно характеризуют биологическое состояние формирующихся культурных лесных экосистем, но и указывают на их связь с аккумуляцией в почвах органического вещества, особенно его лабильных форм.

Таблица 2. Целлюлозоразлагающая способность инициальных и агросерых почв, (n=10)

Горизонт	Глубина, см	lim		M	±m	σ	CV,%
		Max	Min				
Восточный гидроотвал							
О	0-5	39.6	4.5	19.9	1.76	11.2	56
AY	5-12	90.7	18.9	43.7	1.64	23.0	53
	12-20	35.8	7.7	20.6	1.36	9.0	44
	20-30	45.4	10.2	28.6	1.23	11.3	39
С	30-40	22.4	4.3	11.0	1.64	5.8	53
Сереженский гидроотвал							
О	0-2	24.2	3.3	9.3	2.20	6.7	72
AY	2-5	26.4	5.2	13.7	1.50	6.8	49
	5-15	13.9	1.4	5.8	2.15	4.0	69
	15-20	11.2	2.0	4.0	2.30	2.9	74
С	20-40	27.4	1.1	5.8	4.50	8.4	145
Бестранспортный отвал							
О	0-2	38.2	6.8	15.7	2.00	10.0	64
AY	2-5	16.0	3.0	8.4	1.55	4.2	49
	5-10	40.0	16.0	22.5	1.07	7.7	34
	10-20	46.6	10.2	26.1	1.39	11.6	45
С	20-40	11.2	1.0	5.7	1.79	3.3	57
Агросерые почвы, хр. Арга							
О	0-3	24.1	6.8	16.7	1.03	5.7	34
AY	3-5	62.2	13.3	28.7	1.70	15.6	54
	5-10	15.4	4.7	10.3	1.04	3.4	33
AEL	10-20	33.4	4.0	17.0	1.73	9.4	55
BEL	20-40	6.8	1.0	4.8	1.21	1.8	39

Таблица 3. Интенсивность продуцирования CO<sub>2</sub> инициальными и агросерыми почвами, мг 10г<sup>-1</sup> почвы (n=10)

Горизонт	Глубина, см	Lim		M	±m	σ	CV,%
		Max	Min				
Восточный гидроотвал							
O	0-5	26.0	18.4	21.8	0.34	2.4	11
AY	5-12	18.4	10.2	14.7	0.55	2.6	18
	12-20	16.4	8.8	14.1	0.54	2.4	17
	20-30	17.0	5.9	11.2	0.99	3.5	32
C	30-40	11.4	6.2	7.5	0.69	1.7	22
Сереженский гидроотвал							
O	0-2	44.0	18.8	28.6	0.88	8.1	28
AY	2-5	22.0	16.2	18.1	0.32	1.9	10
	5-15	18.4	11.0	16.1	0.46	1.1	7
	15-20	11.8	8.2	9.4	0.38	1.1	12
C	20-40	15.4	4.2	7.3	1.53	3.9	49
Бестранспортный отвал							
O	0-2	40.0	22.0	31.6	0.57	5.8	18
AY	2-5	12.4	5.8	9.4	0.70	2.1	22
	5-10	13.2	4.2	7.4	1.22	2.9	39
	10-20	13.0	4.0	6.9	1.30	2.9	42
C	20-40	10.2	4.2	5.5	1.09	1.9	35
Агросерые почвы, хр. Арга							
O	0-3	28.4	20.4	24.1	0.33	2.6	11
AY	3-5	24.2	13.2	19.0	0.58	3.5	18
	5-10	22.2	13.2	16.5	0.54	2.9	17
AEL	10-20	15.4	6.9	11.2	0.76	2.7	24
BEL	20-40	11.2	4.8	8.6	0.74	2.0	23

Анализ распределения микроорганизмов и базального дыхания минерального слоя почвы с использованием метода главных компонентов показал, что биомасса на всех глубинах по количественным показателям преобладала в литостратах Сереженского гидроотвала и агросерых почвах. Литостраты Восточного гидроотвала и Бестранспортного отвала имели высокую интенсивность гетеротрофного дыхания. Неоднородное распределение биомассы в профиле почв напрямую зависит от содержания углерода в органическом опаде, поступающем на поверхность и толщу почвы в процессе биологического круговорота.

## Глава 5. Гумусное состояние инициальных почв

### 5.1. Формирование гумуса инициальных почв

Органическое вещество в инициальных почвах техногенных ландшафтов и агросерых старопахотных почвах неоднородно и, исходя из кинетики гумификации, выделяется лабильное органическое вещество (ЛОВ) и подвижное (ПОВ) (Пономарева, Плотникова, 1975; Когут, 1987 а, б).

Установлено, что запасы мортмассы в подстильно-торфяных горизонтах в 11-14-летних культурах сосны составляли на Восточном гидроотвале всего 2.0 т·га<sup>-1</sup> при пространственной изменчивости (V) 50%, на агросерых почвах 2.6 т·га<sup>-1</sup>, V=42%. Накопление растительной мортмассы опада в настоящий период отмечено на всех вариантах. По запасам растительного вещества в подстильно-торфяном горизонте культуры сосны на инициальных почвах приближаются к естественным сосновым биогеоценозам лесостепи (табл. 4).

Таблица 4. Запасы мортмассы в подстильно-торфяном горизонте, т·га<sup>-1</sup>

Пробная площадь	Max-min	M	CV, %
Восточный гидроотвал	34.5-16.1	23.9	30
Сереженский гидроотвал	37.9-15.6	24.1	39
Бестранспортный отвал	64.7-26.9	35.2	62
Агросерые почвы, хр. Арга	47.6-23.6	39.2	25

### 5.2. Компонентный и фракционный состав гумуса инициальных почв

Основная масса углерода подстильно-торфяного горизонта представлена ЛОВ, различия по вариантам обусловлены возрастом и полнотой древостоев, интенсивностью трансформации опада-подстилки.

На подвижные гуминовые кислоты в органогенных горизонтах инициальных почв приходится 52-34%, в агросерых 23%. Коэффициент пространственной изменчивости этого показателя в органогенных горизонтах низкий (13-24%), но в минеральном профиле возрастает до 99-250%. Высокие запасы подвижных гуминовых кислот отмечены в органогенном горизонте инициальных почв Сереженского гидроотвала при вариативности 13-20% (рис. 2).

Наибольшее содержание щелочерастворимых гумусовых веществ наблюдается в органогенных и верхней части аккумулятивных горизонтов минеральной части профиля (рис. 2).

На углерод ЛМОВ минеральной толщи инициальных и агросерых почв приходится 21, 40, 48 и 37% соответственно на Восточном и Сереженском гидроотвалах, Бестранспортном отвале и агросерых почвах. ЛОВ минеральной толщи представлено корневым опадом и углеродом периферической части гумусовых кислот, слабо связанных с минеральной составляющей субстрата. На его долю приходится соответственно 72, 60, 25 и 54% от общих запасов ЛМОВ. Подвижные формы углерода на 99, 99, 98 и 99% извлекаются 0,1 n NaOH.

Проведенные ранее исследования по формированию гумуса под культурами сосны на отвалах вскрышных пород показали, что по качественному составу

органическое вещество (ОВ) органогенного и первичного гумусового горизонта близко ОВ зональных почв. Сравнение фракционного состава гумуса первичного гумусового горизонта инициальных почв с гумусом темно-серых (агросерых) почв показало, что формирование гумусового комплекса происходит по типу серых лесных почв лесостепи. На это указывает отношение СГК:СФК, преобладание в составе гуминовых кислот фракций 2ГК и 3ГК. Основные различия в качественном составе гумуса отмечены для фульвокислот (Шугалей, 1997).

Максимальные запасы углерода (126.50 т·га<sup>-1</sup>) образовались в слое 0-40 см под 45-летними культурами сосны на Восточном гидроотвале, затем следует Бестранспортный отвал – 127.9, Сереженский гидроотвал – 59.4, в сосняках на агросерых почвах – 114.5 т·га<sup>-1</sup>. Основные различия между литостратами различных отвалов обусловлены запасами углерода в минеральной толще грунта. Так, под культурами сосны на Восточном гидроотвале запасы углерода в субстрате составляют 80, на Сереженском – 60, Бестранспортном отвале – 52, в агросерых почвах 68% от общих запасов. В подстильно-торфяном горизонте сосредоточено соответственно на Восточном гидроотвале 15, Сереженском 24, Бестранспортном отвале 12, агросерых почвах 20% от общих запасов углерода в натурфабрикатах (рис. 2).

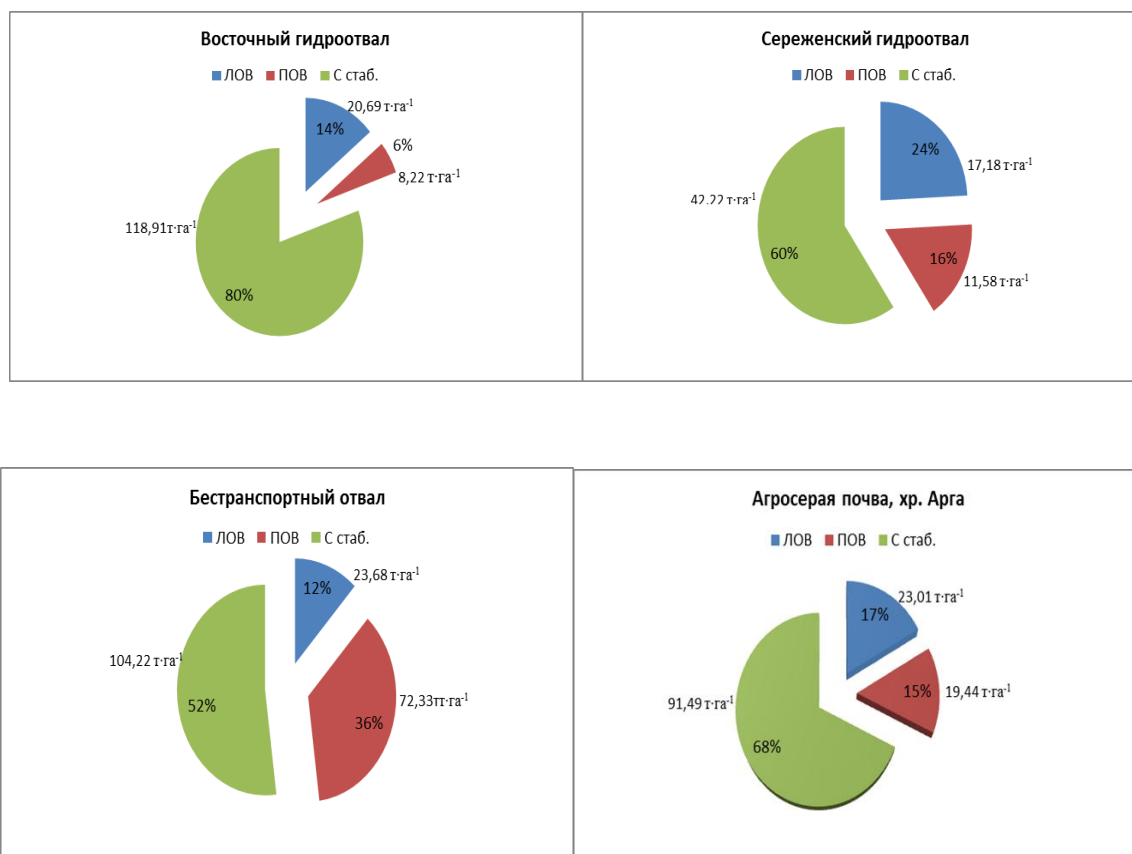


Рис. 2. Состав углерода органического вещества инициальных и агросерых почв, %

## Глава 6. Азотный фонд инициальных почв

### 6.1. Фракционный состав азота

В органогенных и минеральных горизонтах азот представлен обширной группой соединений, очень неоднородных по своему составу и доступности растениям (Шугалей, Бодикова, 2018).

Таблица 5. Фракционный состав азотного фонда литостратов и агросерых почв, мг·100г<sup>-1</sup>\* (n=10)

Горизонт	Глубина, см	Азот				
		Валовой**	Негидролизуемый	Трудногидролизуемый	Легкогидролизуемый	Минеральный
Восточный гидроотвал						
О	0-2	1450±0.5	<u>1384.1</u> 95	<u>25.9</u> 2	<u>30.8</u> 2	<u>9.2</u> 1
АУ	2-5	310±0.1	<u>280.8</u> 92	<u>18.9</u> 5	<u>8.9</u> 2	<u>1.43</u> 1
С	5-10	140±0.4	<u>113.5</u> 81	<u>14.4</u> 13	<u>4.7</u> 3	<u>3.41</u> 3
	10-20	80±1.0	<u>57.9</u> 72	<u>8.9</u> 11	<u>8.4</u> 10	<u>5.51</u> 7
	20-40	85±8.5	<u>63.0</u> 74	<u>13.8</u> 16	<u>6.9</u> 8	<u>1.18</u> 2
Серезенский гидроотвал						
О	0-2	1060±1.0	<u>1019.5</u> 96	<u>28.7</u> 3	<u>9.7</u> 1	<u>2.1</u> 2
АУ	2-5	145±0.1	<u>103.9</u> 71	<u>31.5</u> 22	<u>8.4</u> 6	<u>1.2</u> 1
С	5-10	120±0.5	<u>94.7</u> 79	<u>18.9</u> 16	<u>5.3</u> 4	<u>1.1</u> 1
	10-20	140±0.8	<u>116.0</u> 83	<u>15.0</u> 11	<u>5.6</u> 4	<u>2.6</u> 2
	20-40	80±1.0	<u>56.1</u> 70	<u>16.5</u> 21	<u>5.2</u> 7	<u>2.2</u> 2
Бестранспортный отвал						
О	0-2	990±0.7	<u>932.4</u> 94	<u>19.6</u> 2	<u>28.4</u> 3	<u>9.6</u> 1
АУ	2-5	390±0.3	<u>355.7</u> 91	<u>14.3</u> 4	<u>15.1</u> 4	<u>4.9</u> 1
С	5-10	150±0.5	<u>124.7</u> 83	<u>6.8</u> 5	<u>14.3</u> 10	<u>4.2</u> 2
	10-20	140±0.3	<u>104.3</u> 75	<u>13.9</u> 10	<u>18.1</u> 13	<u>3.7</u> 2
	20-40	120±0.9	<u>79.2</u> 66	<u>13.5</u> 11	<u>17.9</u> 15	<u>9.4</u> 8
Агросерая почва, хр. Арга						
О	0-2	350±0.8	<u>313.5</u> 90	<u>19.6</u> 6	<u>5.6</u> 2	<u>11.3</u> 2
Пах	2-5	190±0.5	<u>168.3</u> 89	<u>14.2</u> 7	<u>2.4</u> 1	<u>5.1</u> 3
Подпах	5-10	170±0.4	<u>142.9</u> 84	<u>16.8</u> 10	<u>8.2</u> 5	<u>2.1</u> 1
	10-20	140±0.2	<u>115.0</u> 82	<u>17.1</u> 12	<u>5.6</u> 4	<u>2.3</u> 2
	20-40	85±0.1	<u>63.5</u> 75	<u>14.1</u> 17	<u>2.8</u> 3	<u>4.6</u> 5

\*Над чертой – мг 100г<sup>-1</sup>, под чертой - % от валового содержания азота, \*\* - + ошибка средней

Трансформация органических азотсодержащих соединений зависит от исходного состава компонентов, гидротермических условий, биохимической направленности процессов разложения и синтеза (табл. 5). На долю соединений азота, представленных негидролизующим органическим веществом опада и мортмассы, прочно связанным со стабильным гумусом, приходится в органогенном горизонте и верхней части аккумулятивного - 90-96%, с глубиной его количество уменьшается в соответствии с количественным и качественным составом органического вещества.

Фракция легкогидролизующего азота, ближайшего резерва подвижного, составляет в верхней части профиля 1-4%, в слое 20-40 см – 7-15% содержания и объясняется более медленным разложением на этой глубине корневых остатков. На долю минеральных форм приходится 1-5%.

### **6.2. Аммонифицирующая и нитрифицирующая способность инициальных почв**

Компостирование инициальных почв в оптимальных условиях показало, что на всех вариантах отмечено увеличение содержания как в органогенном горизонте, так и на всех глубинах минерального профиля. Накопление азота в инициальных почвах было заметно выше, чем под сосновыми культурами на агросерых почвах, что обусловлено плотностью сложения и качественным составом мортмассы.

Между вариантами инициальных почв различия менее существенны. Пространственная изменчивость в органогенных горизонтах высокая и достигает 47-128%.

В агросерых почвах отмечено небольшое снижение азота за период компостирования. Тенденция увеличения легко- и трудногидролизующего азота свидетельствует о возможности закрепления подвижных форм азота в составе более сложных органических соединений.

Содержание нитратов за четырехнедельный период компостирования в органогенных горизонтах инициальных почв Восточного гидроотвала и агросерых почвах уменьшилось, в минеральной толще существенно возросло. Различия между вариантами является следствием воздействия многих факторов: различия в качественном составе мортмассы, биологическая активность и многое другое. Вариабельность накопления нитратов в органогенном горизонте высокая (73-382%).

Листовая диагностика показала, содержание азота в хвое сосны в конце вегетационного периода составляла 0.93-1.17%, что свидетельствует об их обеспеченности этим элементом (Гирс, 1996).

### **6.3. Взаимосвязь углерода и азота органического вещества почв**

Содержание общего углерода в инициальных и агросерых почвах довольно близкое. Пространственная изменчивость во всех вариантах высокая (рис. 3).



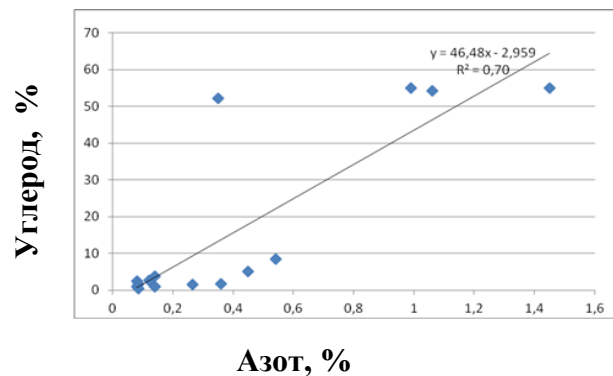


Рис. 3. Запасы углерода и азота в инициальных и агросерых почвах под культурами сосны (слой 0-40 см). 1 – Восточный гидроотвал, 2 – Сереженский гидроотвал, 3 - Бестранспортный отвал, 4 – Агросерая почва, хр. Арга

Особенно высока вариабельность в минеральной толще агросерых почв.

Регрессионный анализ взаимосвязи показал полную зависимость общего углерода и азота. Коэффициент детерминации ( $r^2$ ) этих параметров показывает, что содержание азота на 70% определяется содержанием углерода. Средняя ошибка уравнения регрессии составляет 18.1%.

Из уравнения следует, что как углеродом, так и азотом сравнительно обогащен подстильно-торфяной (органогенный) горизонт как инициальных, так и агросерых почв.

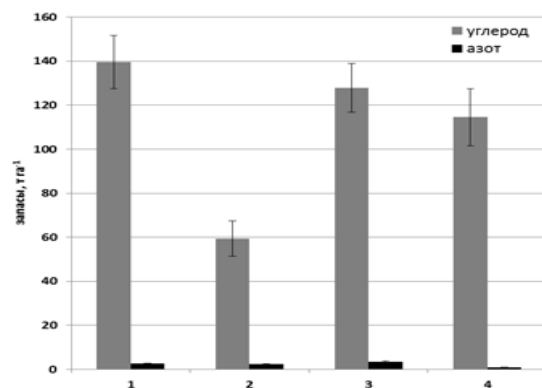


Рис. 4. Взаимосвязь содержания общего углерода и азота в инициальных и агросерых почвах под культурами сосны, т·га<sup>-1</sup>

Содержание и результаты работы позволяют сделать следующие выводы:

1. Почвообразование на техногенных отвалах под культурами сосны идет по лесному типу и формирующиеся инициальные почвы отнесены к группе натурфабрикатов, подгруппе литостратов. Литостраты находятся на начальных стадиях почвообразования и имеют следующий морфологический облик: O-AУ-C (C1, C2 и т. д.). Отличительной особенностью инициальных почв является образование органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтов и отсутствие срединных.

2. Хаотичные смеси грунтов вскрышных пород отвалов выступают в качестве почвообразующих пород. Гранулометрический и агрегатный составы, объемная и удельная масса. Распределение физических свойств по профилю формирующихся почв является следствием различных технических способов вскрыши и формирования отвалов. Гидроотвалы характеризуются более плавным, в сравнении с экскаваторным отвалом, распределением гранулометрических фракций и агрегатов.

3. Суглинистый и глинистый состав, плотность сложения минеральной толщи инициальных почв способствуют формированию периодически-промывного водного режима, благоприятного для произрастания древостоев и травянистого яруса. В течение вегетационного периода содержание влаги не опускается ниже влажности разрыва капилляров (ВРК).

4. Интегральные показатели биологической активности формирующихся почв – целлюлозоразложение и интенсивность продуцирования  $\text{CO}_2$  характеризуются высокой пространственной изменчивостью, нарастают по мере увеличения емкости и интенсивности биологического круговорота и обогащения субстрата опадом фитомассы. В настоящий период они сблизились с аналогичными параметрами агросерых почв.

5. В литостратах под культурами сосны ко II классу возраста древостоев сформировался специфичный для лесных почв подстильно-торфяной горизонт. Запасы подземной мортмассы составляют  $23,9-35,2 \text{ т-га}^{-1}$  и подразделяются на подгоризонты 01, 02, 03. Основная (62-70%) мортмасса сосредоточена в ферментативном слое 02. Мощность и сложение органогенного горизонта инициальных почв соответствуют естественным сосновым биогеоценозам региона. Гумусообразование в минеральном слое субстрата охватило толщу 2-10 см.

6. Формирование азотного фонда инициальных и агросерых почв под культурами сосны тесно связано с формированием гумусового профиля. Максимальное содержание валового азота сосредоточено в органогенном горизонте. Основная (94-95%) часть азота представлена негидролизуемыми сложными органо-минеральными соединениями.

В формирующихся аккумулятивных горизонтах минеральной толщи инициальных почв валовое содержание азота существенно ниже органогенного горизонта. Минеральный азот представлен аммонийными и нитратными соединениями. В агросерых почвах содержание азота в органогенных горизонтах ниже, в аккумулятивных различия сглажены.

7. Регрессионный анализ показал, что формирование углеродного и азотного фондов в инициальных и агросерых почвах тесно связано ( $r^2$  0.70-0.77). Содержание азота на 70% определяется формированием гумусового профиля.

8. Культуры сосны, созданные на отвалах вскрышных пород без нанесения плодородного слоя имеют Ia и I классы бонитета. Листовая диагностика показала обеспеченность древостоев азотом. Таким образом, экологическое состояние древостоев свидетельствует о благоприятных лесорастительных условиях, формирующихся на отвалах инициальных почв, для этого вида древостоев и способности лесных массивов уже сейчас выполнять средообразующие и биосферные функции.

#### **Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

1. Шугалей Л.С., Бодикова Н.В. Азотный фонд инициальных почв под культурами сосны на вскрышных породах // Вестник КрасГАУ. – 2014. – Вып. 8. – С. 41-47.
2. Шугалей Л.С., Бодикова Н.В. Лесное почвообразование в техногенных ландшафтах лесостепи Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2015. – Вып. 5. – С. 8-13.

3. Бодикова Н.В. Аккумуляция биогенных элементов в искусственных лесных биогеоценозах техногенных ландшафтов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – Вып. 11. – С. 45-50.
4. Шугалей Л.С., **Бодикова Н.В.** Экологическое состояние сосновых культурбиогеоценозов на отвалах вскрышных пород // Лесоведение. – 2018. – Вып. 4. – С. 292-303.
5. Бодикова Н.В. Азотный фонд инициальных почв под культурами сосны на отвалах вскрышных пород // Экологические альтернативы в сельском и лесном хозяйстве: сб. науч. ст. аспирантов и магистров. Вып. 2 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 55-62.
6. Бодикова Н.В. Азотный фонд литостратов под разновозрастными культурами сосны на отвалах Назаровского угольного разреза // Экологические альтернативы в сельском и лесном хозяйстве: сб. науч. ст. аспирантов и магистров. Вып. 3 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2013. – С. 30-35.
7. Бодикова Н.В. Азотный фонд инициальных почв под культурами сосны на отвалах вскрышных пород Назаровского угольного разреза // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: во 2 кн. / IX Международная научно-практическая конференция. – Кн. 2. – Барнаул: РИО АГАУ, 2014. – С. 406-408.
8. Бодикова Н.В. Аммонифицирующая и нитрифицирующая способность инициальных почв // Экологические альтернативы в сельском и лесном хозяйстве: сб. науч. ст. аспирантов и магистров Вып. 4 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014.– С. 84-93.
9. Бодикова Н.В. Органогенный горизонт инициальных почв под культурами сосны на отвалах вскрышных пород // Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока: мат-лы I Всерос. науч.-практ. конф. Молодых ученых (1-4 октября 2014 г.). – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2014. – С. 144-147.
10. Бодикова Н.В. Почвообразование под культурами сосны на отвалах вскрышных пород Назаровского угольного разреза // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. Выпуск 18. Том I. – Абакан, 2014. – С. 129-130.
11. Бодикова Н.В. Формирование инициальных почв на техногенных отвалах под культурами сосны // Материалы Международной научной конференции XVIII Докучаевские молодежные чтения «Деграляция почв и продовольственная безопасность России» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета, 2015. – С. 29-30.
12. Бодикова Н.В. Аккумуляция биогенных элементов в лесных биогеоценозах на отвалах вскрышных пород // Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ (7-11 сентября 2015 г., г. Томск, Россия) / под ред. С.П. Кулижского (отв. ред.), Е.В. Каллас, А.В. Родиковой, Т.А. Новокрещенных. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – С. 301-304.
13. Бодикова Н.В. Минерализация легкогидролизуемого азота в инициальных почвах // Экологические альтернативы в сельском и лесном хозяйстве: сб. науч. ст. аспирантов и магистров. Вып. 5 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – С. 27-30.