

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
И.Н. Безкоровайная
_____ подпись
« _____ » _____ 20 __ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

05.03.06 – Экология и природопользование
05.03.06.02 – Природопользование

Радиометрическая съемка почв в тепловом диапазоне на отвалах Бородинского
угольного разреза

Руководитель, к.б.н., доцент

_____ подпись, дата

Т. В. Пономарева

Выпускник

_____ подпись, дата

А. А. Бикмурзина

Нормоконтролер

_____ подпись, дата

О. С. Бухно

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Обзор литературы	4
1.1 Техногенные ландшафты, отвалы угольных разрезов	4
1.2 Канско-Ачинский угольный бассейн	6
1.3 Бородинский угольный разрез.....	9
2 Физические свойства почв	11
2.1 Общие физические свойства почвы	11
3 Объекты и методы исследований	18
3.1 Объекты исследований.....	18
3.2 Методы исследования.....	19
3.2.1 Метод отбора проб почв.....	19
3.2.2 Определение влажности почвы	19
3.2.3 Измерение температуры почвы.....	20
3.2.4 Строение почвенного профиля.....	21
3.2.5 Продуктивность травяных экосистем.....	23
3.2.7 Температурный режим почв	27
3.2.8 Определение рН почв	28
3.2.9 Определение плотности почв	28
3.3 Метод определения фитомассы	29
4 Результаты исследований.....	30
Заключение	38
Список использованных источников	39

ВВЕДЕНИЕ

Особенности формирования почв на техногенном элювии отвалов определяются как технологией отсыпки отвалов, так и сценарием развития биоценоза. Несмотря на накопленный опыт рекультивации на отвалах, работы по оценке свойств техногенных почвенных образований на отвалах разного возраста и типа весьма актуальны [1-3].

Цель работы: изучение структурной организации реплантоземов и литостратов на рекультивированных отвалах Бородинского бурогоугольного разреза.

Задачи: Оценить строение профилей реплантоземов и литостратов на основе результатов радиометрической съемки в тепловом диапазоне.

1 Обзор литературы

1.1 Техногенные ландшафты, отвалы угольных разрезов

Техногенный ландшафт — антропогенный ландшафт, особенность формирования и структура которого обусловлены промышленной деятельностью. Площадь техногенных ландшафтов постоянно сильно увеличивается, и как правило, происходит многостороннее негативное воздействие на окружающую среду: трансформируется земная поверхность, нарушается почвенный покров, изменяются условия для растительного и животного мира и нарушается гидрологический режим местности, происходит загрязнение атмосферы, земли и вод продуктами эрозии, ухудшается санитарно-гигиеническое состояние среды, снижается продуктивность прилегающих земель, затрудняются условия жизни людей, что отрицательно сказывается на их здоровье, производительности труда [3, 4].

Добыча угля открытым способом является мощным фактором нарушения природного ландшафта. При разработке создаются большие и глубокие карьеры, перемешивание и удаление верхних плодородных почв, что впоследствии приводит к выветриванию. Разработка каменноугольных месторождений открытым способом не только уничтожает и отчуждает почвы непосредственно под разрез и отвалы, но и оказывает воздействие на весь природный комплекс прилегающей территории. Это выражено в следующих формах:

1. уничтожение растительного покрова;
2. изменение формы рельефа;
3. создание новых форм рельефа (возникает техногенный нооландшафт);
4. загрязнение почв, атмосферы и природных вод пылью, химическими элементами-загрязнителями и токсикантами, высвобождающимися при выветривании вскрышных пород [4].

Нарушенные горнотехническими работами территории, к которым относятся отвалы угольных разрезов, разделяют на три группы [2]:

1 группа – потенциально плодородные грунты, пригодные для произрастания растений;

2 группа – грунты, непригодные для растительности;

3 группа – грунты, не пригодные для освоения без проведения химической мелиорации.

Проведение восстановительных работ на отвалах способствует запуску и более быстрому восстановлению структуры и функциональных связей компонентов внутри техногенной экосистемы и ее взаимодействие с внешними ненарушенными горными работами природными экосистемами.

Отвалообразование — процесс размещения пустых пород на специально отведённой площади; завершающий этап вскрышных работ на карьерах. Способы и средства отвалообразования тесно связаны с системами открытой разработки месторождений. При бестранспортной системе отвалообразование осуществляется одноковшовыми экскаваторами непосредственно во внутренние отвалы, при транспортно-отвальной — также во внутренние отвалы консольными отвалообразователями и транспортно-отвальными мостами [5].

Отвалообразование при транспортной системе разработки как на внутренних, так и на внешних отвалах выполняется с помощью отвальных плугов, одноковшовых экскаваторов, бульдозеров, отвалообразователей.

Отвалообразование пустых пород драглайнами осуществляют при разработке горизонтальных и пологопадающих пластообразных и россыпных месторождений. Драглайн, объединяя в себе функции выемочной и отвалообразующей машины, перемещает горные породы и укладывает их во внутренний отвал полосой, равной ширине заходки. При большой мощности вскрыши и достаточной устойчивости пород в отвале применяют отвалообразование с переэкскавацией драглайном части перемещённых первоначально в отвал пород во 2-й ярус.

Расходы на отвалообразование составляют 12-15% себестоимости вскрыши на угольных разрезах, до 15% себестоимости 1 т полезных ископаемых на железорудных карьерах.

Для уменьшения площади отчуждаемых земель отвалообразование ведётся до максимально возможных высот отвалов. Технология отвалообразования обычно предусматривает возможность и эффективность последующей рекультивации поверхности, нарушенной горными работами [6, 7].

1.2 Канско-Ачинский угольный бассейн

На юге Центральной Сибири расположен один из десяти крупнейших угольных бассейнов России – Канско-Ачинский. Поскольку пласты угля в месторождении сплошные, мощные и расположены близко к поверхности, большая часть (89%) разработок ведётся открытым способом [4]. В экономическом отношении это наиболее дешёвый способ добычи угля. Но, в то же время, проведение открытых горных работ сопровождается полным уничтожением почвенного, растительного покровов и созданием отвалов из хаотичной смеси вскрышных и вмещающих пород [5, 6, 7, 8]. Общий запас бурых углей составляет от 670 млрд. до 4 трил.т. Действующие разрезы: Назаровский (мощность 10,5 – 16,0 млн. т) и Ирша-Бородинский (мощность 15 – 40 млн. т). Простое геологическое строение и малая мощность вскрышных пород делают уголь месторождения самым дешёвым в стране (себестоимость 1т 1,2 – 1,3 руб). Крепкие породы (песчаники и алевролиты) во вскрыше не превышают 1,2 – 4,0% от общего ее объема. Основная масса вскрышных пород представлена суглинками и песчано-глинистыми отложениями юрского, мелового и четвертичного возраста. Породы не засолены, имеют делювиально-аллювиальное происхождение и вполне пригодны для выращивания травянистых и лесных растений. На Назаровском карьере, формирующем внешние автоотвалы на р. Чулым, имеются все условия для гумусовой мелиорации поверхностных отвалов, после чего они могут уже в первый год быть использованы для выращивания многолетних бобовых и злаковых трав. Как показывает опыт Назаровского лесхоза, здесь имеется возможность

выращивания лиственных и хвойных лесных пород для создания лесопаркового кольца вокруг города. Благоприятны условия рекультивации и внешних отвалов Бородинского разреза.

Технология вскрыши угольных разрезов предусматривает снятие аккумулятивной (до 50-100 см) части почвенного покрова и складирование в бурты, образуя хранилище полезного слоя почвы (ПСП) [9, 10].



Рисунок 1 - Бородинский угольный разрез.

Согласно систематике ТПО такие почвенные хранилища относятся к группе натурфабрикатов и подгруппе органостратов [9]. В буртах плодородный слой почв должен храниться менее 3-5 лет и по мере подготовки отвалов использоваться для создания техногенных почв [11].

В структуре почвенного покрова земель, изымаемых под разработку угольных разрезов Канско-Ачинского бассейна преобладают плодородные агропочвы с мощным гумусово-аккумулятивным горизонтом (черноземы, серые лесные и т.д.) [12]. Технология вскрыши на таких участках предусматривает снятие и складирование в бурты плодородного слоя почв (ПСП). Складированный субстрат ПСП в дальнейшем используется при

создании на полях рекультивации искусственных почвоподобных тел или техногенных поверхностных образований (ТПО) (по [11]).

Исследования проводятся на пробных площадях экспериментального полигона ($55^{\circ}52'$ с.ш., $94^{\circ}54'$ в.д.), заложенного на территории угольного разреза «Бородинский». Разрез относится к Канско-Рыбинской котловине, расположенной на северной окраине лесостепной зоны и представляющей собой крупную тектоническую депрессию, ограниченную с юга северными отрогами Восточного Саяна, а с севера и северо-запада – южной оконечностью Енисейского кряжа. Рельеф местности – равнинный, холмисто-увалистый с широкими долинами рек, плоско-выпуклыми междуречьями, слабо-покатыми склонами [13, 14, 15].

Согласно физико-географическому районированию Сергеева [15], территория Бородинского разреза находится в пределах Восточного средне-высотного подрайона, Ирбейско-Уярского района в подзоне типичной лесостепи Присяянской провинции Средне-Сибирской страны Ирбейско-Уярского района и представляет южную часть лесостепного округа.

По термическим условиям ($\Sigma (t > 10^{\circ}) = 1600$) – это умеренно прохладный агроклиматический район, расположенный в умеренном климатическом поясе [16]. По данным ближайшей метеостанции (г. Уяр), среднегодовая температура в пределах территории не превышает $-0,6^{\circ}\text{C}$, минимальная в январе равна $-23,5^{\circ}\text{C}$, максимальная в июле $+24,4^{\circ}\text{C}$ [12]. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 150, безморозного – 105, вегетационного (с $t > 5^{\circ}$) – 150 дней [13]. За год в среднем выпадает 375-400 мм осадков, за период с температурой выше 10°C – 200 мм. ГТК = 1.2, что характеризует район как умеренно влажный [12].

Почвенный покров территории экспериментального полигона приходится на Красноярско-Канскую под провинцию выщелоченных и обыкновенных черноземов, лугово-черноземных и серых лесных длительно сезонно-мерзлотных почв, в пределах Западноприсяянской провинции островных лесостепей с преобладанием высокогумусированных маломощных сезонно-

мерзлотно-глеевых черноземов и серых лесных почв [15]. Большая часть плодородных почв (черноземы, серые лесные почвы) на территории угольного разреза распахана и использовалась в сельскохозяйственном производстве [16].

1.3 Бородинский угольный разрез

С 1949 по 2017 г. угольным разрезом «Бородинский» проведены значительные по площади (приблизительно 30 км²) техногенные преобразования земной поверхности. В результате обработки угольных пластов создано выработанное пространство глубиной до 100 м. Последнее частично заполнено внутренними отвалами вскрышных пород. Дневная поверхность внутреннего отвала (500 га) в меньшей степени рекультивирована для сельскохозяйственного использования, на остальной - (700 га) посажены деревья хвойных пород (сосна, ель).

Требованиями к рекультивированным землям в долгосрочном периоде (15-20 лет) оговаривается наличие следующих показателей: в случае сдачи земель под пашню – высокие уровни агрохимических показателей (содержание гумуса, питательных веществ, макроэлементов и т.п.), а также жесткие геометрические параметры рельефа поверхности сдаваемых земель; в случае сдачи земель под пастбище или сенокос – те же показатели, что и под пашню, а также создание соответствующего растительного покрова из технических культур (люцерна, донник и т.п.) [17].

Исследования проводятся на пробных площадях экспериментального полигона (55°52'с.ш., 94°54' в.д.), заложенного на территории угольного разреза «Бородинский». Разрез относится к Канско-Рыбинской котловине, расположенной на северной окраине лесостепной зоны и представляющей собой крупную тектоническую депрессию, ограниченную с юга северными отрогами Восточного Саяна, а с севера и северо-запада – южной оконечностью Енисейского кряжа. Рельеф местности – равнинный, холмисто-увалистый с

широкими долинами рек, плоско-выпуклыми междуречьями, слабо-покатыми склонами [18, 19, 20].

Согласно физико-географическому районированию Сергеева [20], территория Бородинского разреза находится в пределах Восточного средне-высотного подрайона, Ирбейско-Уярского района в подзоне типичной лесостепи Присяянской провинции Средне-Сибирской страны Ирбейско-Уярского района и представляет южную часть лесостепного округа.

По термическим условиям ($\Sigma (t > 10^\circ) = 1600$) – это умеренно прохладный агроклиматический район, расположенный в умеренном климатическом поясе [21]. По данным ближайшей метеостанции (г. Уяр), среднегодовая температура в пределах территории не превышает $-0,6^\circ\text{C}$, минимальная в январе равна $-23,5^\circ\text{C}$, максимальная в июле $+24,4^\circ\text{C}$ [17]. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 150, безморозного – 105, вегетационного (с $t > 5^\circ$) – 150 дней [18]. За год в среднем выпадает 375-400 мм осадков, за период с температурой выше 10°C – 200 мм. ГТК = 1.2, что характеризует район как умеренно влажный [17].

Почвенный покров территории экспериментального полигона приходится на Красноярско-Канскую подпровинцию выщелочных и обыкновенных черноземов, лугово-черноземных и серых лесных длительно сезонно-мерзлотных почв, в пределах Западноприсяянской провинции островных лесостепей с преобладанием высокогумусированных маломощных сезонно-мерзлотноглеевых черноземов и серых лесных почв [20]. Большая часть плодородных почв (черноземы, серые лесные почвы) на территории угольного разреза распахана и использовалась в сельскохозяйственном производстве [21].

2 Физические свойства почв

2.1 Общие физические свойства почвы

Среди физических свойств почвы различают ее общие физические, физико-механические, водные, воздушные и тепловые свойства. Физические свойства влияют на характер почвообразовательного процесса, плодородие почвы и развитие растений. К общим физическим свойствам относятся плотность почвы, плотность твердой фазы и пористость.

Плотностью почвы называют массу единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении, выраженную в граммах на кубический сантиметр.

Плотность почвы зависит от гранулометрического и минералогического составов, структуры, содержания гумуса и обработки. После обработки почва вначале бывает рыхлой, а затем постепенно уплотняется, и через некоторое время ее плотность мало изменяется до следующей обработки. Самую низкую плотность имеют верхние гумусированные и оструктуренные горизонты. Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальная плотность почвы составляет 1,0 - 1,2 г/см³ [21, 22, 23].

Под удельным весом почвы или плотностью твердой фазы почвы понимают средний вес всех составных элементов в единице объема твердой фазы. Его величина дает некоторое представление о составе почвы, так как зависит от количества скелетных частиц, минералогического состава и содержания органических веществ. Необходимо знать удельный вес почвы для правильного выбора времени отстаивания частиц при механическом анализе, а также для вычисления порозности почвы. Плотность твердой фазы почвы — это масса сухой почвы в единице объема твердой фазы почвы без пор. Ее вычисляют, г/см³, по формуле:

$$d = m/V_s \tag{1}$$

где m — масса сухой почвы, г;

V_s — объем, см³.

В малогумусных почвах и в нижних минеральных горизонтах плотность твердой фазы составляет 2,6-2,8 г/см³. С увеличением содержания гумуса плотность твердой фазы уменьшается до 2,4-2,5 г/см³, а в торфяных почвах — до 1,4-1,8 г/см³. Плотность твердой фазы используют для расчета пористости почвы. От плотности почвы зависят поглощение влаги, воздухообмен в почве, жизнедеятельность микроорганизмов и развитие корневых систем растений [23].

Пористость (скважность) почвы — это суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы. Пористость (общую) вычисляют по показателям плотности почвы и плотности твердой фазы и выражают в процентах к общему объему почвы:

$$P_{общ.} = (1 - d_v / d) 100 \quad (2)$$

где d_v — плотность почвы, г/см³;

d — плотность твердой фазы почвы, г/см³.

Пористость зависит от гранулометрического состава, структурности, содержания органического вещества. В пахотных почвах пористость обусловлена обработкой и приемами окультуривания. При любом рыхлении почвы пористость увеличивается, а при уплотнении уменьшается. Чем структурнее почва, тем больше общая пористость.

Размеры пор, в совокупности образующих общую пористость почвы, варьируют от тончайших капилляров до более крупных промежутков, которые не обладают капиллярными свойствами [15]. Поэтому наряду с общей пористостью различают еще капиллярную и некапиллярную пористость почвы. Капиллярная пористость характерна для ненарушенных суглинистых почв, а некапиллярная — для структурных и рыхлых почв. Поры могут быть заполнены водой или воздухом. Капиллярные поры обеспечивают водоудерживающую способность почвы, от них зависит запас доступной для растений влаги. Некапиллярные поры увеличивают водопроницаемость и

воздухообмен. Устойчивый запас влаги в почве при одновременном хорошем воздухообмене создается в том случае, когда некапиллярная пористость составляет 55...65 % общей пористости. В зависимости от общей пористости в вегетационный период для суглинистых и глинистых почв дают качественную оценку пористости почв.

Пористость почвы обеспечивает передвижение воды в почве, водопроницаемость и водоподъемную способность, влагоемкость и воздухоемкость. По общей пористости можно судить о степени уплотнения пахотного слоя почвы. От пористости в значительной степени зависит плодородие почв [20, 24, 25].

Тепловые свойства почв

К основным тепловым свойствам почвы относят теплопогложительную способность, теплоемкость и теплопроводность.

Теплопогложительная способность — свойство почвы поглощать лучистую энергию Солнца. Показатель теплопогложительной способности связан с величиной альбедо.

Альбедо — это отношение отраженной радиации к суммарной, поступающей на Землю, выраженное в процентах. Чем меньше альбедо, тем больше почва поглощает солнечной радиации. Этот показатель зависит от цвета почвы, влажности, структуры, содержания гумуса и гранулометрического состава. Высокогумусированные почвы имеют темную окраску, поэтому они поглощают лучистой энергии на 10... 15 % больше, чем малогумусированные. По сравнению с песчаными почвами глинистые характеризуются высокой теплопогложительной способностью. Сухие почвы отражают лучистую энергию на 5... 11 % больше, чем влажные.

Теплоемкость — способность почвы удерживать тепло. Различают удельную и объемную теплоемкость почвы [26, 27].

Удельная теплоемкость — количество тепла, необходимое для нагревания 1 г сухой почвы на 1 °С (Дж/г на 1 °С).

Объемная теплоемкость — количество тепла, затрачиваемое для нагревания 1 см³ сухой почвы на 1 °С (Дж/см³ на 1 °С). Данные о теплоемкости основных частей твердой фазы почв приведены в таблице.

Теплоемкость почвы зависит от минералогического и гранулометрического составов, а также от содержания в ней воды и органического вещества.

Теплопроводность — способность почвы проводить тепло. Она измеряется количеством тепла в джоулях, которое проходит в 1 с через 1 см³ почвы. Поскольку тепло в почве передается в основном через твердые частицы, воду и воздух, а также при контакте частиц между собой, то теплопроводность в значительной степени зависит от минералогического и гранулометрического составов, влажности, содержания воздуха и плотности почвы. Чем крупнее механические элементы, тем больше теплопроводность. Так, теплопроводность крупнозернистого песка при одинаковой пористости и влажности в два раза больше, чем крупнопылевой фракции. По теплопроводности твердая фаза почвы примерно в 100 раз превышает воздух, поэтому рыхлая почва имеет более низкий коэффициент теплопроводности, чем плотная [27].

Воздушный режим почв

Почвенный воздух — один из факторов жизни растений. Кислород воздуха необходим для прорастания семян, дыхания корней растений, почвенных микроорганизмов. Он участвует в реакциях окисления минеральных и органических веществ. При окислении органического вещества почвы происходит круговорот углерода, азота, фосфора и других элементов питания. При недостатке кислорода ослабляются дыхание, обмен веществ, а при отсутствии в почве свободного кислорода прекращается развитие растений. Косвенное влияние недостатка кислорода в почве связано с понижением окислительно-восстановительного потенциала, развитием анаэробных процессов, образованием токсичных для растений соединений, снижением доступных питательных веществ, ухудшением физических свойств почвы. Все

это в конечном итоге способствует снижению плодородия почвы и урожая растений [28, 29].

Состав почвенного воздуха отличается от атмосферного. В атмосферном воздухе содержание азота составляет 78 % (к объему), кислорода — 21, диоксида углерода — 0,03, в почвенном — соответственно 78-80, 5-20, 0,1-15,0 % (по Н. П. Ремезову). Как видно из приведенных данных, в почвенном воздухе по сравнению с атмосферным меньше кислорода и больше диоксида углерода. Если состав атмосферного воздуха довольно постоянный, то содержание кислорода и диоксида углерода в почвенном воздухе может сильно колебаться [27].

Второй важный компонент почвенного воздуха — диоксид углерода. Высокое содержание его в почве отрицательно действует на семена, корни и урожай растений. Однако CO_2 необходим для фотосинтеза. Установлено, что от 38 до 72 % диоксида углерода поступает в растения из почвенного воздуха при «дыхании» почвы.

Количество воздуха в почве и его состав зависят от ее воздухоемкости и воздухопроницаемости, а также от пористости и влажности, так как почвенный воздух занимает все поры, в которых нет воды.

Воздухоемкость — это способность почвы содержать в себе определенное количество воздуха. Она зависит от пористости и влажности почвы. Чем выше пористость и меньше влажность почвы, тем больше воздухоемкость. На воздухоемкость влияют гранулометрический состав и структура почвы.

Чем структурнее почва, тем больше в ней крупных некапиллярных пор, свободных от воды, а следовательно, выше ее влагоемкость. В распыленных бесструктурных почвах мало воздуха. Нормальная аэрация почв обеспечивается в том случае, если воздухоемкость превышает 15 % объема почвы [32].

Воздухопроницаемость — способность почвы пропускать через себя воздух. Чем полнее она выражена, тем лучше происходит газообмен, тем больше в почвенном воздухе содержится кислорода и меньше диоксида

углерода. Воздухопроницаемость зависит от гранулометрического состава почвы, ее оструктуренности, объема пор между агрегатами.

Газообмен почвенного воздуха с атмосферным (аэрация) происходит через систему воздухоносных пор под действием диффузии барометрического давления, изменения температуры почвы, уровня грунтовых вод, количества влаги в почве (зависит от атмосферных осадков, орошения и испарения), а также под действием ветра [31].

Диффузия обусловлена тем, что в почвенном воздухе концентрация кислорода всегда меньше, а диоксида углерода больше, чем в атмосфере. При этом кислород непрерывно поступает в почву, а CO_2 выделяется в атмосферу.

Изменение количества влаги в почве и уровня грунтовых вод способствует газообмену, так как влага атмосферных осадков вытесняет почвенный воздух, а испарение воды из почвы и повышение уровня грунтовых вод вызывают всасывание атмосферного воздуха.

Влияние ветра на газообмен сильнее проявляется на пористых почвах, на которых отсутствует растительность.

Динамика кислорода и CO_2 почвенного воздуха зависит от типа почвы, ее физических и биологических свойств, химического состава, времени года, погодных условий, а также от использования земель. В обрабатываемой почве состав воздуха обусловлен агротехникой и фазой развития возделываемой культуры. От содержания влаги в почве и температуры зависят биологические и биохимические процессы, а следовательно, интенсивность потребления кислорода и продуцирование диоксида углерода. Огромное количество почвенных организмов в процессе дыхания потребляют кислород и выделяют CO_2 [33, 34].

Основные потребители кислорода в почве — корневые системы растения, микроорганизмы и почвенные животные. Потребление кислорода высшими и низшими растениями зависит от их биологических особенностей и возраста, а также от температуры и влажности среды и других причин. При увеличении температуры с 5 до 30 °С интенсивность поглощения кислорода и

выделения диоксида углерода возрастает в 10 раз. Динамика этих газов в почве сильно подвержена сезонным колебаниям, так как смена времен года сопровождается резким изменением температуры и влажности. Летом потребление кислорода и выделение CO^2 в несколько раз больше, чем ранней весной и поздней осенью [34].

Регулировать воздушный режим почв можно с помощью агротехнических и мелиоративных приемов. Большое значение имеют такие мероприятия по обеспечению нормального газообмена, как разрушение почвенной корки и поддержание поверхности почвы в рыхлом состоянии, а также приемы обработки почвы, направленные на увеличение некапиллярной скважности, повышающей воздухопроницаемость почвы, и др.

Улучшение воздушного режима особенно необходимо там, где распространены почвы с избыточным увлажнением. Продуктивность угодий на болотных и заболоченных почвах ограничена плохой аэрацией и недостатком кислорода. Поэтому воздушный режим этих почв регулируют с помощью осушения [36].

3 Объекты и методы исследований

3.1 Объекты исследований

Объектом исследований являлись реплантоземы и литостраты на отвалах разного возраста от 6 до 36 лет на экспериментальном полигоне Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Экспериментальный полигон и заложенные на нем пробные площади для проведения изучения формирования техногенных экосистем расположены на территории Бородинского бурогоугольного разреза в Красноярском крае в пределах Канской котловины, на восточной окраине лесостепной зоны Средней Сибири [11]. Возрастное состояние отвалов (молодые, средневозрастные, старые) дано по работе В. А. Андроханова и В. М. Курачева [1]. Отвалы на экспериментальном полигоне представлены рекультивированными и нереккультивированными типами, с нанесением плодородного слоя почвы и без нанесения.

Район исследования, в целом, характеризуется благоприятными гидротермическими условиями. Среднее годовое количество осадков 200-400 мм [3]. Рельеф представлен волнистой равниной. В районе исследований основной фон составляют черноземы и серые почвы [9, 12]. Основу зональной растительности Канской лесостепи составляют настоящие, остепненные и лесные луга. Леса, преимущественно березовые перелески, занимают незначительные площади, и приурочены к северным склонам, западинам, долинам рек и другим понижениям рельефа [3]. Смежные с отвалами луговые и лесные сообщества служат источниками спор, семян, зачатков микроорганизмов, низших и высших растений, в результате аэрогенного перемещения которых происходит инициальное освоение нарушенных поверхностей.

3.2 Методы исследования

Для оценки состояния и характеристики почв на различного типа отвалах Бородинского угольного разреза изучали свойства почв (рН, содержание гумуса, карбонатов, плотность), гидротермические условия, количество фитомассы в различных растительных ассоциациях, в ходе исследований использовали стандартные и авторские методики.

Основным методом, использованным в работе для выявления строения почвенных профилей на отвалах угольных разрезов, является анализ изображений почв в тепловом диапазоне с последующей обработкой полученных изображений.

В ходе исследований были заложены почвенные разрезы на рекультивированных отвалах с нанесением плодородного слоя почвы (ПСП): на старом отвале 36 летнего возраста и молодом отвале 6 летнего возраста, а также на рекультивированном отвале без нанесения ПСП [35].

Для оценки воздействия растительности на формирование почвенного профиля были заложены площадки в 6 растительных ассоциациях и выполнена в почвенных разрезах радиометрическая съемка, более подробно методика съемки приведена ниже.

3.2.1 Метод отбора проб почв

Отбор, упаковка, транспортирование и хранение почвенных проб - по ГОСТ 17.4.3.01, ГОСТ 17.4.4.02, ГОСТ 12071, для агрохимических исследований - по ГОСТ 28168.

3.2.2 Определение влажности почвы

Определение влажности почвы проводили термостатно-весовым методом, сущность которого заключается в определении потери влаги при высушивании

почвы, а также диэлькометрическим методом с помощью цифрового влагомера FLIR M-160 непосредственно в почвенном в разрезе [42].



Рисунок 2 - Тепловизор FLIR

3.2.3 Измерение температуры почвы

Измерения температуры почвы выполняли контактным и бесконтактным методами. Контактное измерение температуры производили с помощью цифровых термометров Eclerk, бесконтактное измерение проводилось с помощью тепловизора FLIR.

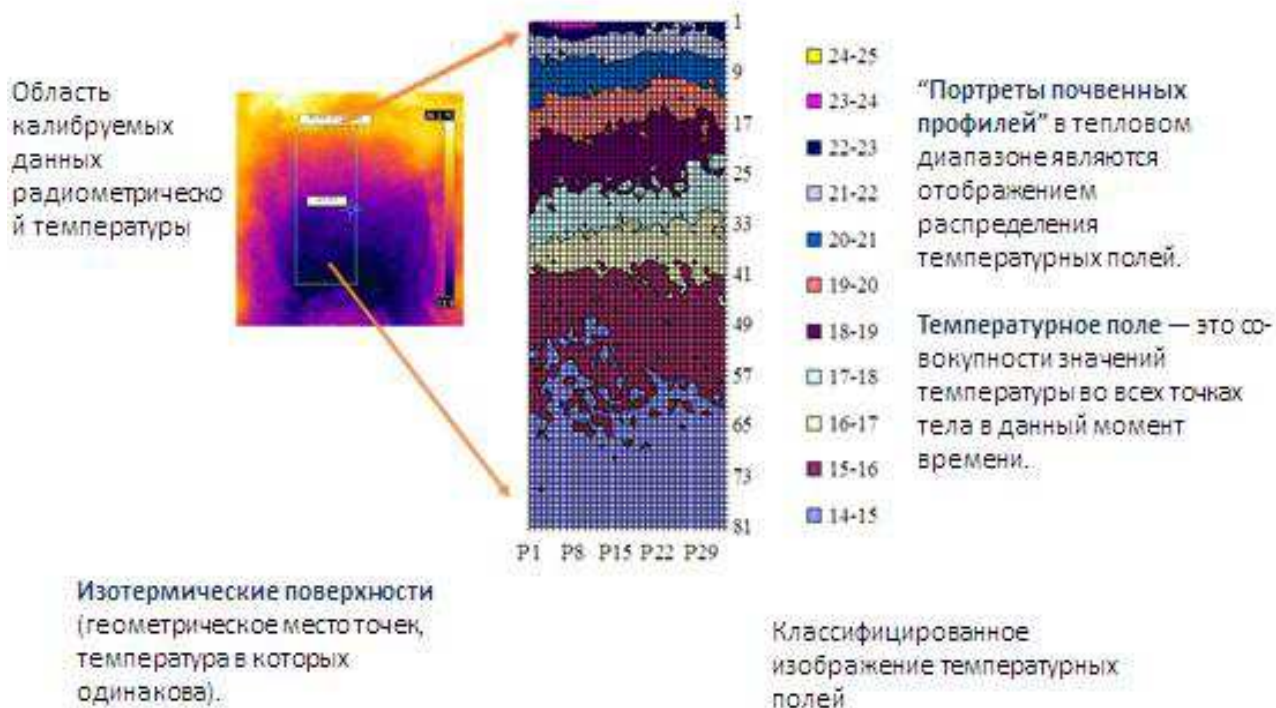


Рисунок 3 - Термометр Eclerk

Основные технические характеристики системы ИК-съемки FLIR, такие как широкий спектральный диапазон (от 7.5 до 13 мкм), диапазон измеряемой температуры ($-10...+350^{\circ}\text{C}$), а также чувствительность (0.1°C), соответствуют поставленной задаче и позволяют провести измерения с необходимой точностью [42].

3.2.4 Строение почвенного профиля

Снимали почвенные разрезы сразу после того, как их выкопают. Над разрезом устанавливали экран для предотвращения попадания прямых солнечных лучей и неравномерного нагревания стенки. Съемку вели перпендикулярно стенке разреза с расстояния, позволяющего захватить весь почвенный профиль (от 50 до 200 см). Для последующего масштабирования изображения при съемке профиля устанавливали метки глубины, через каждые 10 см. Изображения, полученные с помощью радиометра в тепловом диапазоне, автоматически калибровали. В результате для каждого почвенного разреза получали массив данных радиометрических температур.



Б – калиброванные значения радиометрической температуры участка исходного изображения; В – фрагмент данных с границами почвенных горизонтов, размер одного пикселя 1×1 см. Рисунок 4 - Технология получения данных радиометрической съемки почвенного профиля. А – снимок в ИК-диапазоне;

Количество получаемых значений радиометрической температуры почвы может варьировать в зависимости от условий съемки. В среднем изображение имеет размер 100×50 пикселей. Размер пикселя зависит от расстояния до стенки почвенного разреза при выполнении съемки, в среднем составляет 1–2 см. Радиометрические данные с помощью программных средств сохраняли в формате массива калиброванных данных, которые использовали для дальнейшего анализа. Массивы данных, представленные в виде пространственных диаграмм, являются радиометрическими “портретами” конкретного почвенного профиля. Отличия и особенности строения почвенных профилей на исследуемых отвалах выявляли по радиометрическим “портретам” [41,42,43,44].

3.2.5 Продуктивность травяных экосистем

Фитомасса - общее количество живого органического вещества растений (как высших, так и низших), накопленное к данному моменту в надземной и подземной сфере фитоценоза суши (участка леса, луга и т.п.) или водного пространства. В надземную сферу, образующую фитомассу входят однолетние органы – листья и хвоя, ассимилирующие побеги, а также цветки и плоды, и многолетние – стволы и ветви деревьев, одревесневшие побеги полукустарников и лиан, долголетние листья и хвоя. В подземную – корни, корневища, клубни, луковицы, которые также могут быть однолетними и многолетними; кроме того, в формировании фитомассы участвуют слоевища и ризоиды низших растений. Эти подразделения характеризуют структуру фитомассы, которая имеет свои особенности, специфичные для разных типов растительных сообществ и зависящие от их зонального положения (широтного, поясного и пр.). Так, при грубом сопоставлении весовых показателей в сообществах таёжной зоны доля корней в Ф. составляет 20–25%, тогда как в пустынной зоне она повышается до 70–80% и даже более. Для количественной характеристики фитомассы чаще всего применяют как весовые меры (масса абсолютного сухого органического вещества или заключённого в нём углерода), так и линейные (особенно для корней) или поверхности (особенно для листьев и хвои). В лесоведении чаще используют объёмные меры (m^3 и т.п.), а в специальных исследованиях – энергетические (эрг и др.). [4]. Важными показателями фитомассы являются ее объем, поверхность, химизм, калорийность, внутренняя и внешняя структура, фракционный состав, годичный прирост и др. Величина фитомассы растительного сообщества характеризует его организацию, биосферное значение.

Среди естественных растительных сообществ суши наибольший запас фитомассы накапливают леса, растущие в благоприятных условиях, например во влажных тропиках, где фотосинтез древесных пород почти равномерно осуществляется в течение всего года. Минимальные запасы фитомассы - в

сообществах, находящихся в экстремальных условиях (тундра, пустыня). Отмирающая фитомасса пополняет ресурсы минерального питания растений, участвует в формировании почвенного гумуса, влияет на химизм верхних горизонтов почвы, на состав и обилие почвенных животных и микроорганизмов.

Характер и размеры накопления фитомассы зависят не только от условий обитания, но и от биологических особенностей растений (в частности от продолжительности их жизни) [5]. Мортмасса - мертвый покров, мертвая часть органического вещества биогеоценоза, произведенная биоценозом (отмершее вещество, выраженное в единицах массы и отнесенное к единице площади или объема). В сообществах находится в виде опада (сухостой, старика, омертвевшие органы растений), опада (упавшие на поверхность почвы части растений, трупы животных), торфа, подстилки и детрита (в водных экосистемах). Вместе с биомассой и гумусом составляет органическое вещество биоценоза. В большей степени состоит из органического вещества растительного происхождения. Количество мортмассы зависит от количества ежегодно отмирающего вещества и интенсивности его разложения. Количество отмирающего вещества связано с внешними и внутренними процессами. Интенсивность разложения зависит от соотношения термических условий и условий разложения, химического состава отмирающего вещества, микроорганизмов – деструкторов и т. п. Мортмасса испытывает существенную динамику в течение года [6, 7].

Подстилка - плотно лежащий на поверхности почвы мертвый покров (часть мортмассы) из спада листьев, плодов, цветков, коры и небольших ветвей. В сообществах, особенно лесных, подстилка благодаря своей влагоемкости предохраняет почву от высыхания, создает благоприятные условия для развития грибов, почвенной фауны и микроорганизмов и постепенно вовлекается в почвообразовательный процесс. Одно из проявлений средообразующего влияния доминирующих растений и образования биоценотической среды [8].

Для оценки структурной организации почвенных профилей на отвалах с ПСП был выбран отвал 1982 года отсыпки и 6 наиболее распространенных растительных микрогруппировок: вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*), мятлика лугового (*Poa pratensis*), горошка приятного (*Vicia amoena*), василька шероховатого (*Centaurea scabiosa*), кипрея узколистного (*Chamerion angustifolium*), ковыля перистого (*Stipa pennata*).



VITROËE. POA ANNUA L.

Рисунок 5 – Вейниковая растительная микрогруппировка



Рисунок 6 – Мятликовая растительная микрогруппировка



Рисунок 7 – Горошковая растительная микрогруппировка



Рисунок 8 – Васильковая растительная микрогруппировка



Рисунок 9 – Кипрейная растительная микрогруппировка



Рисунок 10 – Ковыльная растительная микрогруппировка

3.2.7 Температурный режим почв

Графические изображения распределения температур в почвенном профиле построены по средним значениям в строке, то есть с учетом горизонтальной вариабельности измерений температуры. Методом построчного усреднения данных определяли значения градиентов температур ($\Delta t/\Delta h$) в различных слоях (Δh) в почвенном профиле. Далее выполняли процедуру классификации радиометрических изображений с использованием различного шага (Δt) в качестве характеристики обучающей выборки (сигнатуры). Варьирование температурными диапазонами при классификации радиометрического изображения профиля позволило выделять формирующиеся структуры почвенного профиля [46].

По результатам радиометрической съемки рассчитали градиенты температуры для каждого исследуемого почвенного профиля. Градиент рассчитывали как разницу между средними значениями верхней и нижней строки в заданном слое полученного массива данных.

3.2.8 Определение рН почв

Определение рН проводили потенциометрически в образцах почв отобранных из всех заложенных разрезов с глубин 0-5 см и 5-10 см [6].

3.2.9 Определение плотности почв

Плотность почвы определяли в образцах почв отобранных буром Качинского из всех заложенных разрезов с глубин 0-5 см и 5-10 см. Плотность почвы, г/см³, вычисляли по формуле:

$$d_v = m/V \tag{3}$$

где m — масса абсолютно сухой почвы, г;

V — объем, занимаемый образцом почвы, см³.

Удельный вес почвы определяли в камеральных условиях при помощи пикнометров на 50 мл [16].

3.3 Метод определения фитомассы

Исследование фитомассы проводилось в конце вегетационного периода методом укосов. Укосы брали с пробных площадок размером 0,5 м² в десятикратной повторности в каждом сообществе, срезая при помощи ножниц на высоте 1 см. Укосы взяты в шести растительных сообществах. Одновременно со взятием укосов определяли общее проективное покрытие, покрытие ветошью и зеленью, высоту травостоя. Затем укосы разделяли на фракции зеленой фитомассы и ветоши, взвешивали каждую фракцию на электронных весах с точностью до 0,01 г. Высушив зеленую фитомассу до воздушно-сухого состояния, взвешивали ее повторно [41].

4 Результаты исследований

Степень дифференциации профиля устанавливалась при анализе изображений почвенных профилей в тепловом диапазоне. Данный подход позволил получить подробные обширные температурные данные и уловить изменения в профиле на ранних стадиях формирования почв на отвалах.

Отмечается, что на отвалах с ПСП 30-летнего возраста в верхнем 5-10 см слое формируются горизонты, характеризующиеся увеличением температурного градиента и усложнением конфигурации границ по сравнению с молодыми отвалами аналогичного типа рекультивации, что обусловлено изменением структурной организации этого слоя в результате деятельности корней и животного населения (рисунок). На нерекультивированных молодых отвалах 10-летнего возраста под лесными культурами сосны формируется маломощный (до 2 см) органогенный слой на поверхности почвы, в корненасыщенном слое 5-7 см наблюдается более упорядоченная структурная организация почвы по сравнению с нижележащей толщей пород, что согласуется с данными О.В. Полохина и В.А. Кульшина [5], которые отмечают, что в эмбриоземах инициальная дифференциация почв происходит по истечении 10 лет после отсыпки.

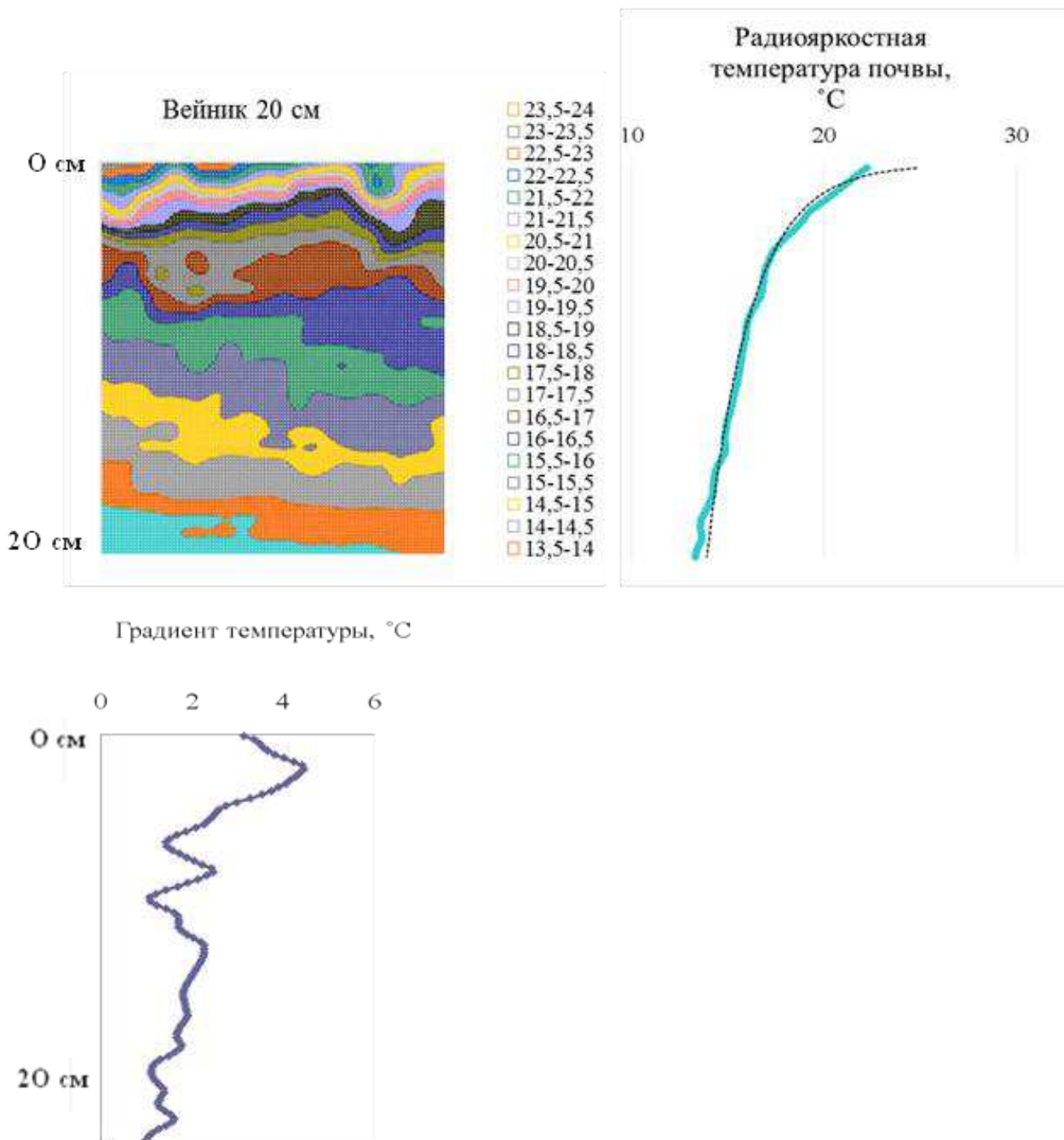


Рисунок 11- Радиометрический снимок почвенного профиля под Вейниковой растительной группировкой

Анализ распределения температур по почвенному профилю показал, что основные изменения температуры наблюдаются в верхней части профиля до глубины 10 см. Далее происходит постепенное накопление температуры, что обусловлено гомогенным строением.

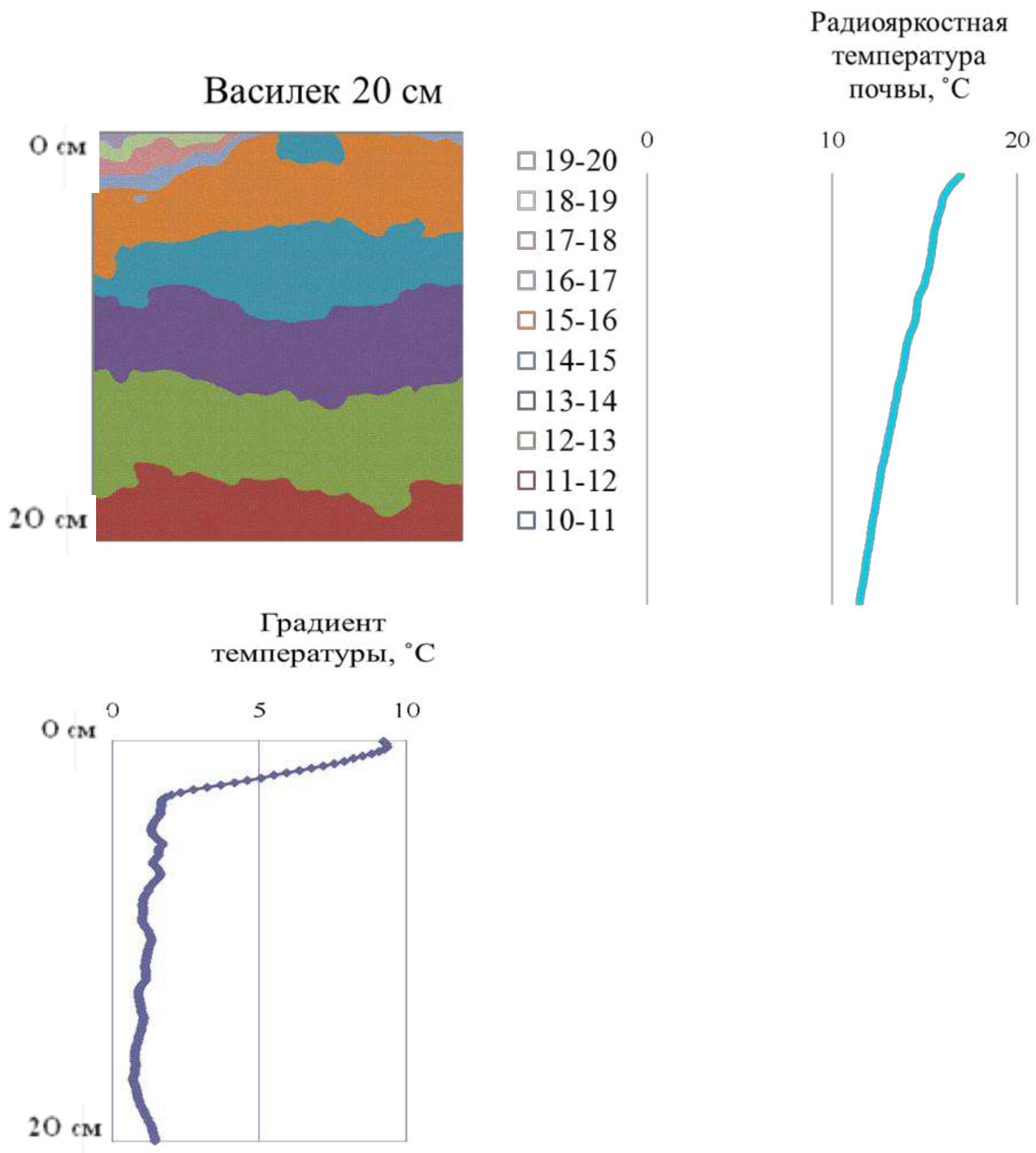


Рисунок 12 - Радиометрический снимок почвенного профиля под Васильковой растительно группировкой

На данном профиле показано, что основные изменения температуры так же наблюдаются в верхней части профиля до глубины 5 см.

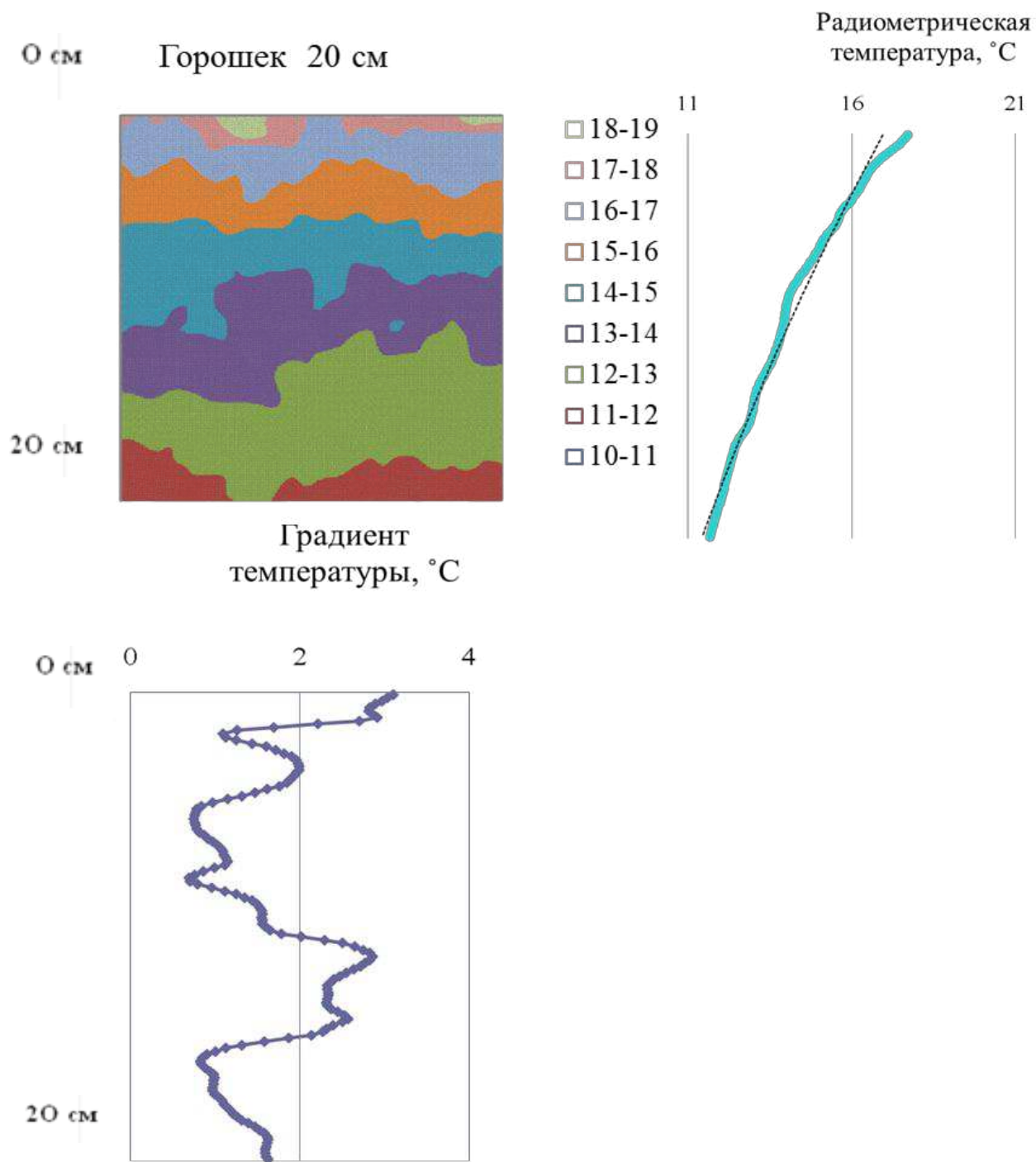


Рисунок 13 - Радиометрический снимок почвенного профиля под ассоциацией горошка

Распределение температуры по почвенному профилю показывает, что изменения температуры происходят в верхней части до глубины 10 см. Далее происходит накопление температуры.

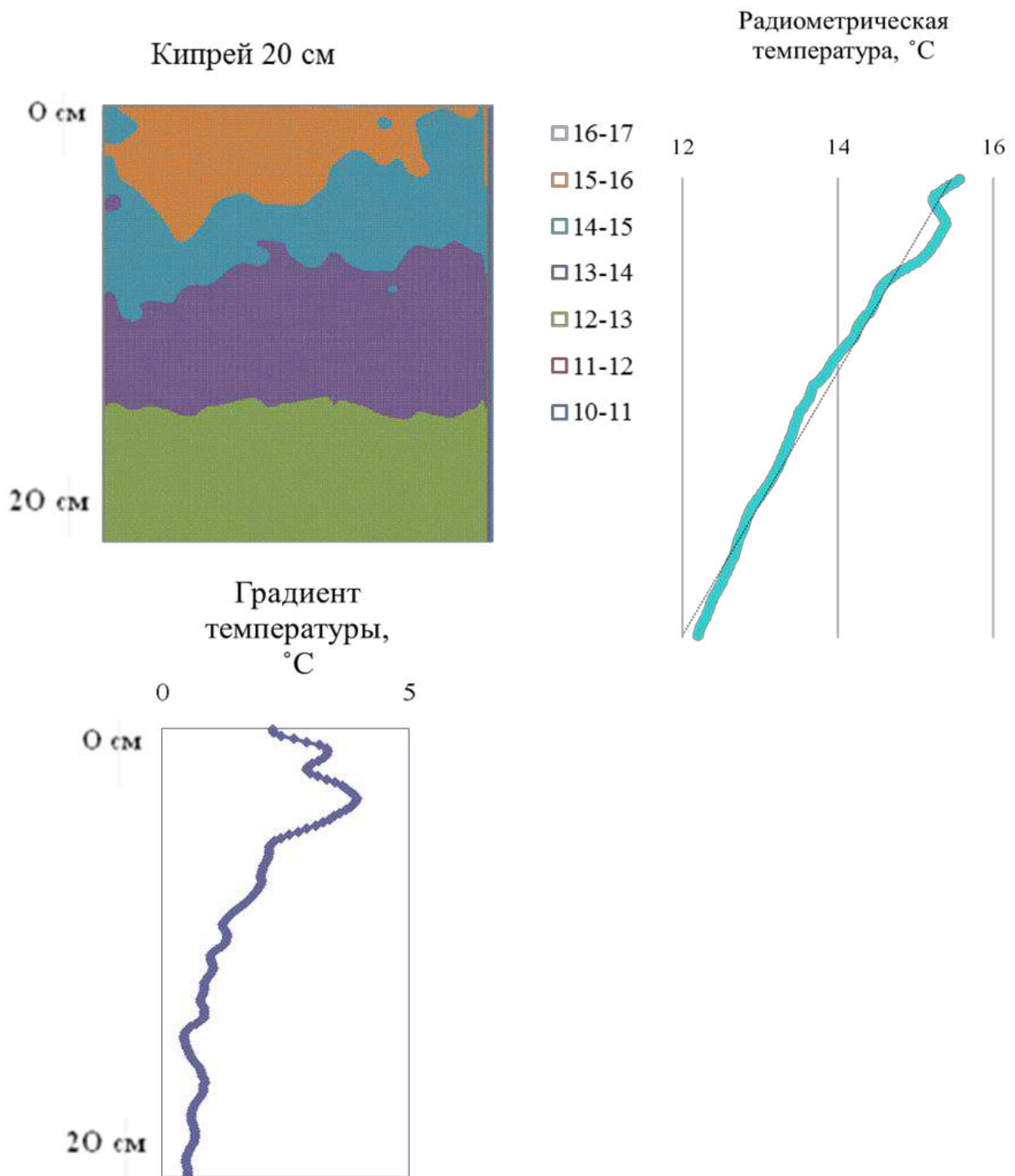


Рисунок 14 - Радиометрический снимок почвенного профиля под ассоциацией Кипрея

Анализ показал, что основные изменения температуры происходят в верхней части профиля до глубины 5 см.

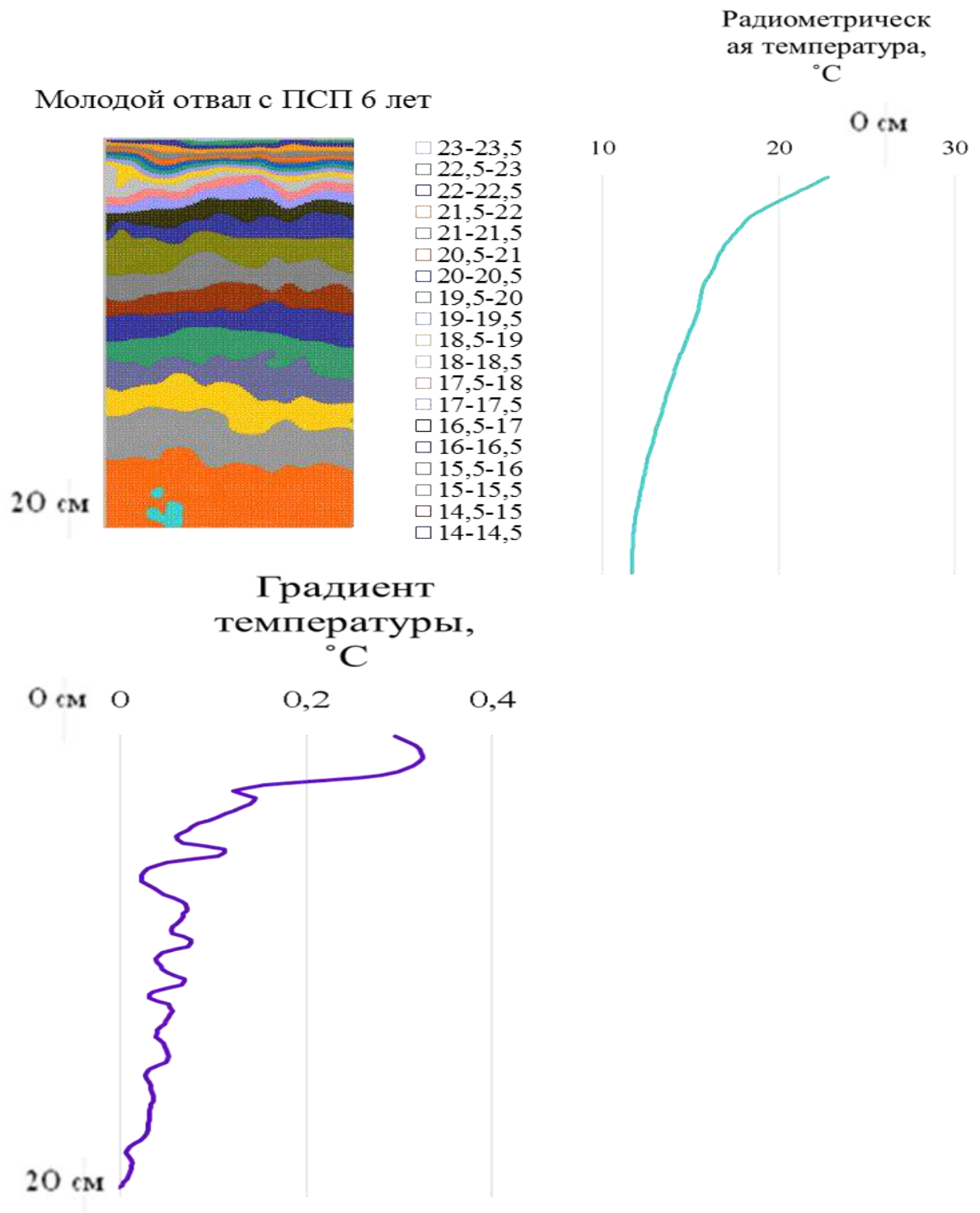


Рисунок 15 - Радиометрический снимок почвенного профиля молодого отвала с ПСП 6-ти лет.

Анализ распределения температуры показал, что основные изменения происходят на глубине 10 – 15 см. Далее идет накопление температуры.

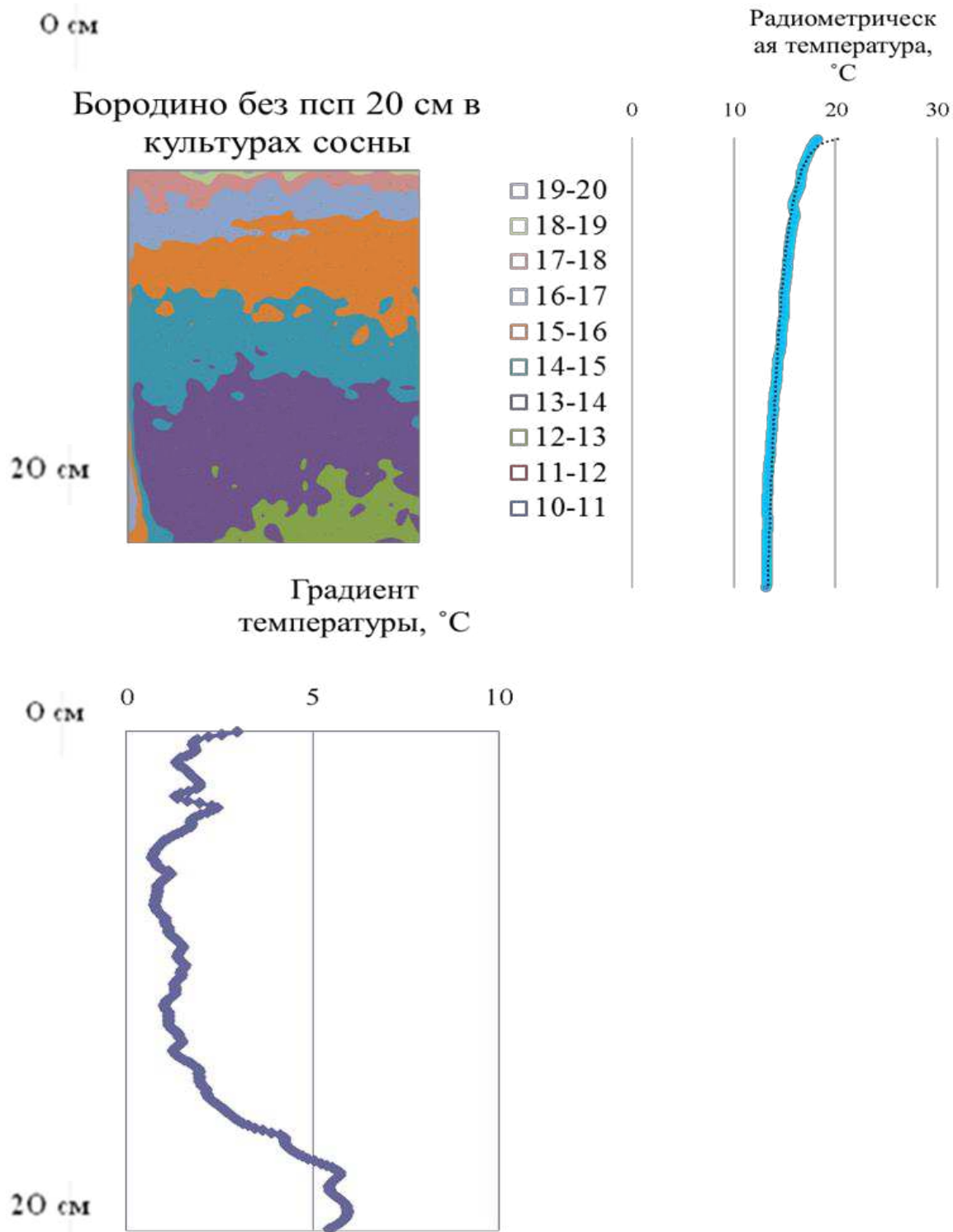


Рисунок 16 - Радиометрический снимок почвенного профиля отвала без ПСП в культурах сосны

Анализ показал, что основные изменения температуры происходят в верхних 3 -5 см. Что обусловлено не гомогенным строением.

На основе анализа кривых распределения градиента в почвенном профиле установлено, что наибольшие градиенты характерны для 5 см слоя. Ниже по профилю градиент варьируется от 0,5 до 1,5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования изменения температуры с глубиной на основе расчета градиентов по результатам радиометрической съемки почв показывают, что значение градиентов в верхних 1 – 5 см слое составляет от 1,5 до 4°С. А в нижней, слабо дифференцированной толще ПСП, составляет от 0,5 до 1,5°С. Также можно сделать вывод, что основные изменения температуры происходят в корнеобитаемой толще, что является результатов деятельности корней.

Таким образом, на основе съемки почв в тепловом диапазоне установлено, что на рекультивированных отвалах без ПСП 10-летнего возраста под культурами сосны изменение структурной организации ТПО происходит в верхнем слое (до 5-7 см) за счет накопления органического вещества, формирования горизонта подстилки и дернового горизонта. На молодых рекультивированных отвалах с ПСП почвенный профиль дифференцирован слабо. На старых отвалах в процессе почвообразования происходит формирование дернового горизонта мощностью 5-10 см с изменением структурной организации в данном слое. Выявлены различия морфологических свойств почв, формирующихся под разными растительными ассоциациями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андроханов, В. А. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция / В. А. Андроханов, Е. Д. Куляпина, В. М. Курачев. – Новосибирск : изд-во СО РАН, 2004. - 151 с.
2. Сметанин, В. И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель / В. И. Сметанин. - Москва : Колосс, 2003. - 94 с.
3. Родин, Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Ленинград : Наука, 1968. - 143 с.
4. Древоград [Электронный ресурс]: Фитомасса – режим доступа: <https://www.derev-grad.ru>
5. Академик [Электронный ресурс]: Мортмасса – режим доступа: <http://dic.academic.ru>
6. Энциклопедия БСЭ [Электронный ресурс]: Фитомасса – режим доступа: <http://alcala.ru>
7. Академик [Электронный ресурс]: Подстилка – режим доступа: <http://dic.academic.ru>
8. Миронов, В. С. Угольная база Красноярского края / В. С. Миронов // Природные ресурсы Красноярского края. - 2009. - № 5. - С. 14-16.
9. Андроханов, В. А. Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В. А. Андроханов, С. В. Овсянникова, В. М. Курачев. - Новосибирск : Наука, 2000. - 198 с.
10. Титлянова, А. А. Биологический круговорот углерода в травянистых биогеоценозах / А. А. Титлянова. - Новосибирск : Наука, 1977. - 221 с.
11. Шугалей, Л. С. Почвообразование в техногенных ландшафтах лесостепи Назаровской котловины Средней Сибири / Л. С. Шугалей, В. В. Чупрова // Почвоведение. - 2012. - № 3. - С. 1-12.

12. Шугалей, Л. С. Биологическая рекультивация нарушенных земель КАТЭКа / Л. С. Шугалей, Г. И. Яшихин, В. К. Дмитриенко. - Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 1996. - 186 с.
13. Вальков, В. Ф. Экология почв / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. - Ростов-на-Дону, 2004. - 54 с.
14. Шугалей, Л. С. Первичное почвообразование на отвалах вскрышных пород под культурой сосны / Л. С. Шугалей // Почвоведение. – 1997. - № 3. - С. 247-253.
15. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. - Смоленск: Ойкумена, 2004. - 342 с.
16. Чупрова, В. В. Современное состояние земельных и почвенных ресурсов Красноярского края / В. В. Чупрова, Н. Л. Кураченко, О. А. Сорокина, А. А. Шпедт, О. А. Ульянова, Ю. В. Бабиченко, Ю. П. Ковалева // Почвы Сибири: особенности функционирования и использования. - Красноярск, 2012. - С. 13-37.
17. Научно-прикладной справочник по климату СССР / Ленинград.: Гидрометеоиздат, 1990. - 279 с.
18. Сергеев, Г. М. Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири / Г. М. Сергеев. – Иркутск : Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1971. - 185 с.
19. Снытко, В. А. Почвенно-географическое районирование западного участка КАТЭКа / В. А. Снытко, Ю. М. Семенов, А. В. Мартынов // География и природные ресурсы. - 1982. - № 2. - С. 32–38.
20. Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской автономной области. - Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1961. - 288 с.
21. Трефилова, О. В. Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири / О. В.

Трефилова, И. Д. Гродницкая, Д. Ю. Ефимов // Почвоведение. - 2014. - № 1. - С. 109-119.

22. Шейн, Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шейн. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 2005. - 432 с.

23. Фаткулин, Ф. А. Органическое вещество молодых почв / Ф. А. Фаткулин, Г. И. Махонин // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. – Новосибирск. - 1992. - № 7. - С. 84–98.

24. Федоров, А. В. СУЭК в Красноярском крае / А. В. Федоров // Природные ресурсы Красноярского края. - 2009. - № 3. - С. 27–30.

25. Watson, W. Appreciating the potential of a devastated land / W. Watson, D. Richardson // The forestry chronicle. - 1978. - V. 48, № 6. - P. 312-315.

26. Hallberg, G. R. A century of soil development in soil derived from loess in Iowa / G. R. Hallberg, N. C. Wollenhaupt, G. A. Miller // Soil Sci. Soc. Amer. J. – 1978. - V. 42. – P. 339-343.

27. Щербатенко, В. И. Естественная растительность отвально-карьерных ландшафтов Сибири / В. И. Щербатенко, Е. Р. Кандрашин // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 65–81.

28. Курачев, В. М. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / В. М. Курачев. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1992. - 305 с.

29. Узбек, И. Х. Особенности ферментативной активности рекультивированных почв / И. Х. Узбек // Почвоведение. - 1991. - № 3. - С. 91–96.

30. Трофимов, С. С. Состав гумуса молодых почв техногенных отвально-карьерных ландшафтов Центрального и Южного Кузбасса / С. С. Трофимов, Ф. А. Фаткулин // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири (теория и технология). – Новосибирск : Наука, Сибирское отделение, 1977. - С. 113–119.

31. Таранов, С. А. Особенности почвообразования в техногенных ландшафтах Кузбасса / С. А. Таранов // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1977. - С. 81–105.
32. Петров, М. Ю. Направленность элементарных почвообразовательных процессов при сельскохозяйственной рекультивации гравийных карьеров / М. Ю. Петров, В. А. Василяускене, Р. И. Шлейнис // Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 140–144.
33. Напрасникова, Е. В. Биологические свойства почв на угольных отвалах / Е. В. Напрасникова // Почвоведение. - 2008. - № 12. - С. 1487–1493.
34. Накаряков, А. В. О молодых почвах, формирующихся на отвалах отработанных россыпей в подзоне южной тайги Среднего Урала / А. В. Накаряков, С. С. Трофимов // Почвообразование в техногенных ландшафтах. – Новосибирск : Наука. - 1979. - С. 58–105.
35. Миронычева-Токарева, Н. П. Динамика растительности при зарастании отвалов (на примере КАТЭЖа) / Н. П. Миронычева-Токарева. – Новосибирск : Наука, Сиб. предприятие РАН, 1998. - 172 с.
36. Масюк, Н. Т. Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных породах в местах произведенной добычи полезных ископаемых / Н. Т. Масюк // Рекультивация земель. – Днепропетровск, 1974. - С. 47–65.
37. Поздняков, Л. К. Леса КАТЭЖа как фактор стабилизации окружающей среды / Л. К. Поздняков. – Красноярск, 1983. - 161 с.
38. Келеберда, Т. Н. Почвообразование на промышленных отвалах под лесной растительностью / Т. Н. Келеберда // Почвоведение. - 1979. - № 9. - С. 109–115.
39. Кабашева, М. М. Лесная рекультивация и почвообразование / М. М. Кабашева, С. С. Трофимов // Почвы зоны КАТЭЖа. – Красноярск, 1985. - С. 5–18.
40. Горбунов, Н. И. Рекультивация земель как часть проблемы рационального использования природных ресурсов и охрана окружающей

среды / Н. И. Горбунов, Т. Г. Зарубина, И. С. Запечалова // Почвоведение. – 1976. - № 1. - С. 87–97.

41. Пономарев, Е. И. Съёмка в тепловом диапазоне при исследовании физических свойств почв / Е. И. Пономарев, Т. В. Пономарёва // Мат-лы докладов VI Съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2012. - С. 54–55.

42. Jackson, T. J. Validation of soil moisture and ocean salinity (SMOS) / T. J. Jackson, R. Bindlish, M. H. Cosh, T. Zhao, P. J. Starks, D. D. Bosch, M. Seyfried, M. S. Moran, D. C. Goodrich, Y. H. Kerr, D. Leroux // Soil Moisture Over Watershed Networks in the US, IEEE T. Geosci. Remote Sens. - 2012. - V. 50. - P. 1530–1543/

43. Bircher, S. Validation of SMOS Brightness Temperatures During the HOBE Airborne Campaign / S. Bircher, J. E. Balling, N. Skou, Y. H. Kerr Geosci. Remote Sens, 2012. - V. 50. - P. 1468–1482.


44. Пономарев, Е. И. Спутниковый мониторинг горных лесных экосистем Саян / Е. И. Пономарев, Д. М. Исмаилова, Д. И. Назимова // Журн. Сибирского федерального ун-та. Биология. - 2011. - Т. 4, № 1. - С. 75–85.

45. Пономарёв, Е. И. Анализ физических свойств почв на основе наземной съёмки в инфракрасном диапазоне / Е. И. Пономарёв, Т. В. Пономарёва // Десятая всерос. конф. “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. - 2012. - С. 78-85.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт экологии и географии
Кафедра экологии и природопользования

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.Н. Безкоровайна
подпись

« 21 » 06 20 18 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Радиометрическая съемка почв в тепловом диапазоне на отвалах
Бородинского угольного разреза

05.03.06. – Экология и природопользование

05.03.06.02 – Природопользование

Руководитель, к.б.н, доцент


подпись, дата

Т. В. Пономарёва

Выпускник, ЭБ14–02Б


подпись, дата

А. А. Бикмурзина

Нормоконтролер


подпись, дата

О. С. Бухно

Красноярск 2018