УДК 631.4

РАЗНООБРАЗИЕ И ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

Е.М. Лаптева[1,2], И.А. Лиханова[1], Е.А. Скребенков[1,2], С.В. Денева[1], Ю.В. Холопов[1], А.А. Рудь[1], В.В. Елсаков[1], Р.Курвантаев[3]

[1] Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия, e-mail: elena.lapteva.60@mail.ru

[2] Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар, Россия,

[3]Институт почвоведение и агрохимических исследований, Узбекистан, e-mail: kurvontoev@mail.ru

Аннотация. Проведена инвентаризация и систематизация данных о содержании и запасах углерода в различных типах почв таежных и тундровых экосистем Европейского Северо-Востока России на примере одного из его крупнейших регионов – Республики Коми. Обобщены материалы о почвах региона, собранные за практически 70-летний период исследований. Полученный материал частично опубликован, частично хранится в архивах Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» в виде рукописных отчетов. В связи со значительной площадью (416 тыс. км2) и протяженностью республики с севера на юг, в ее границах выделяют несколько биоклиматических зон и подзон (южная тундра, лесотундра, северная тайга, средняя тайга, южная тайга), каждая из которых характеризуется соответствующим составом и соотношением типом и подтипом почв.

Анализ архивных и опубликованных данных свидетельствует о том, что в почвах тундры и лесотундры запасы органического углерода ($C_{орг}$) в расчете на метровую толщу в среднем составляют 287 т/га с варьированием от 126-130 т/га криометаморфических и аллювиальных почвах 175-635 т/га в торфяно-глееземах и торфяных почвах. В равнинной части таежной зоны Республики Коми запасы $C_{орг}$ варьируют от 38 (подзолы) до 126,6 (торфянисто-подзолисто-глеевые почвы) т/га. Подзолистые суглинистые почвы, занимающие на водоразделах автоморфные позиции, имеют запасы $C_{орг}$ в пределах 76.6±1.2 т/га. В почвах, развитых на двучленных почвообразующих породах, изучение которых выполнено на созданном в рамках реализации ВИП ГЗ полигоне интенсивного типа «Ляльский», запасы $C_{орг}$ варьируют в зависимости от типовой принадлежности почв от 62 до 181 т/га.

В предгорьях Приполярного Урала запасы почвенного углерода в расчете на метровую толщу в среднем выше по сравнению с таежными почвами равнинных ландшафтов. В зависимости от типовой принадлежности почв они варьируют в низкогорных ландшафтах в среднем от 100-120 т/га (подзолы, светлоземы, подзолистые почвы) до 2600-2700 т/га (торфяные почвы болот). В горных ландшафтах Приполярного Урала, в силу специфики строения почвенного профиля (щебнистость, близкое подстилание плотных пород) запасы углерода в различных типах почв составили 65-393 т/га с более высокими значениями в почвах горно-тундрового пояса, по сравнению с горно-лесным. Нарастание степени гидроморфизма во всех рассмотренных биоклиматических поясах и ландшафтах ведет к увеличению мощности органогенных горизонтов и возрастанию соответственно запасов $C_{орг}$. Эта закономерность прослеживается как для почв водоразделов, так и для почв долинных ландшафтов.

Ключевые слова: Европейский Северо-Восток, тундра, тайга, почвы, почвенное разнообразие, запасы углерода.

Annotation. An inventory and systematization of data on the content and reserves of carbon in various types of soils of taiga and tundra ecosystems of the European North-East of Russia was carried out using the example of one of its largest regions - the Komi Republic. Materials on soils in the region collected over an almost 70-year period of research are summarized. The resulting material is partially published, partially stored in archives Federal Research Center "Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" in the form of handwritten reports. Due to the significant area (416 thousand km2) and the extent of the republic from north to south, several bioclimatic zones and subzones are distinguished within its borders (southern tundra, forest-tundra, northern taiga, middle taiga, southern taiga), each of which is characterized by a corresponding composition and the relationship between soil type and subtype.

Analysis of archival and published data indicates that in tundra and forest-tundra soils the reserves of organic carbon (Corg) per meter thickness average 287 t/ha, varying from 126-130 t/ha; in cryometamorphic and alluvial soils 175-635 t /ha in peat gley soils and peat soils. In the flat part of the taiga zone of the Komi Republic, Corg reserves vary from 38 (podzols) to 126.6 (peaty-podzolic-gley soils) t/ha. Podzolic loamy soils, occupying automorphic positions on watersheds, have Corg reserves within the range of 76.6±1.2 t/ha.

In soils developed on two-membered soil-forming rocks, the study of which was carried out at the Lyalsky intensive test site created as part of the implementation of the VIP GZ, Corg reserves vary depending on the type of soil from 62 to 181 t/ha.

n the foothills of the Subpolar Urals, soil carbon reserves per meter thickness are on average higher than in taiga soils of flat landscapes. Depending on the type of soil, they vary in low-mountain landscapes on average from 100-120 t/ha (podzols, light soils, podzolic soils) to 2600-2700 t/ha (peat soils of swamps).

In the mountain landscapes of the Subpolar Urals, due to the specific structure of the soil profile (rubbly, close underlying dense rocks), carbon reserves in various types of soils amounted to 65-393 t/ha with higher values in the soils of the mountain-tundra belt, compared to the mountain-forest zone. An increase in the degree of hydromorphism in all considered bioclimatic zones and landscapes leads to an increase in the thickness of organic horizons and a corresponding increase in Corg reserves. This pattern can be traced both for soils of watersheds and for soils of valley landscapes.

Key words: European Northeast, tundra, taiga, soils, soil diversity, carbon reserves.

Аннотация: Rossiyaning Evropa shimoli-sharqidagi tayga va tundra ekotizimlarining har xil turdagi tuproqlarida uglerod miqdori va zahiralari to‘g‘risidagi ma’lumotlarni inventarizatsiya qilish va tizimlashtirish uning eng yirik mintaqalaridan biri - Komi Respublikasi misolida amalga oshirildi. Deyarli 70 yillik tadqiqotlar davomida to‘plangan hududdagi tuproqlar bo‘yicha materiallar umumlashtiriladi. Olingan material qisman nashr etildi, qisman «Rossiya Fanlar akademiyasining Ural filialining Komi ilmiy markazi» Federal tadqiqot markazi arxivida qo‘lda yozilgan hisobotlar shaklida saqlangan. Respublikaning katta maydoni (416 ming km2) va shimoldan janubgacha joylashganligi sababli uning chegaralarida bir nechta bioiqlim zonalari va subzonalari (janubiy tundra, o‘rmon-tundra, shimoliy tayga, o‘rta tayga, janubiy tayga) ajralib turadi. Ularning mos keladigan tarkibi va tuproq turi va kichik turi o‘rtasidagi munosabat bilan tavsiflanadi.

Arxiv va nashr etilgan ma’lumotlarning tahlili shuni ko‘rsatadiki, tundra va o‘rmon-tundra tuproqlarida organik uglerod (Corg) zahiralari har bir metr qalinligida o‘rtacha 287 t/ga, kriometamorfik va allyuvial tuproqlarda 175-635 t/ gacha, torfli gleyli va torf tuproqlarida 126-130 t/gacha o’zgarib turadi. Komi Respublikasining tayga zonasining tekis qismida Corg zahiralari 38 (podzollar) dan 126,6 t/ga gacha (torf-podzolik-gley tuproqlar) o‘zgarib turadi. Suv havzalarida avtomorf pozitsiyalarni egallagan podzol qumloq tuproqlar 76,6±1,2 t/ga oralig’ida Corg zahiralariga ega. VIP GZ ni amalga oshirish doirasida yaratilgan Lyal intensiv sinov maydonchasida o‘tkazilgan ikki a’zoli tuproq hosil qiluvchi jinslarda rivojlangan tuproqlarda Corg zahiralari tuproq turiga qarab 62 dan 181 t/gacha o’zgaradi.

Subpolyar Urals tog‘ etaklarida bir metr qalinligida tuproqning uglerod zaxiralari tekis landshaftlarning tayga tuproqlariga qaraganda o‘rtacha yuqori. Tuproq turiga qarab ular past tog‘li landshaftlarda o‘rtacha 100-120 t/ga (podzollar, och tusli tuproqlar, podzol tuproqlar) dan 2600-2700 t/ga gacha (botqoqlarning torf tuproqlari) farqlanadi.

Subpolyar Uralsning tog‘ landshaftlarida, tuproq kesmasining o’ziga xos tuzilishi (shag‘olli, zich

jinslar yaqin joylashishi) tufayli har xil turdagi tuproqlarda uglerod zaxiralari 65-393 t/ga ni tashkil etadi. Tog‘-tundra kamarining tog‘-o‘rmon mintaqasiga nisbatan barcha ko‘rib chiqilgan bioiqlim hududlari va landshaftlarida gidromorfizm darajasining oshishi organogen qatlamlar qalinligining oshishiga va shunga mos ravishda Corg zahiralarining oshishiga olib keladi. Bu qonuniyt suv havzalari tuproqlari uchun ham, vodiy landshaftlari tuproqlari uchun ham kuzatish mumkin.

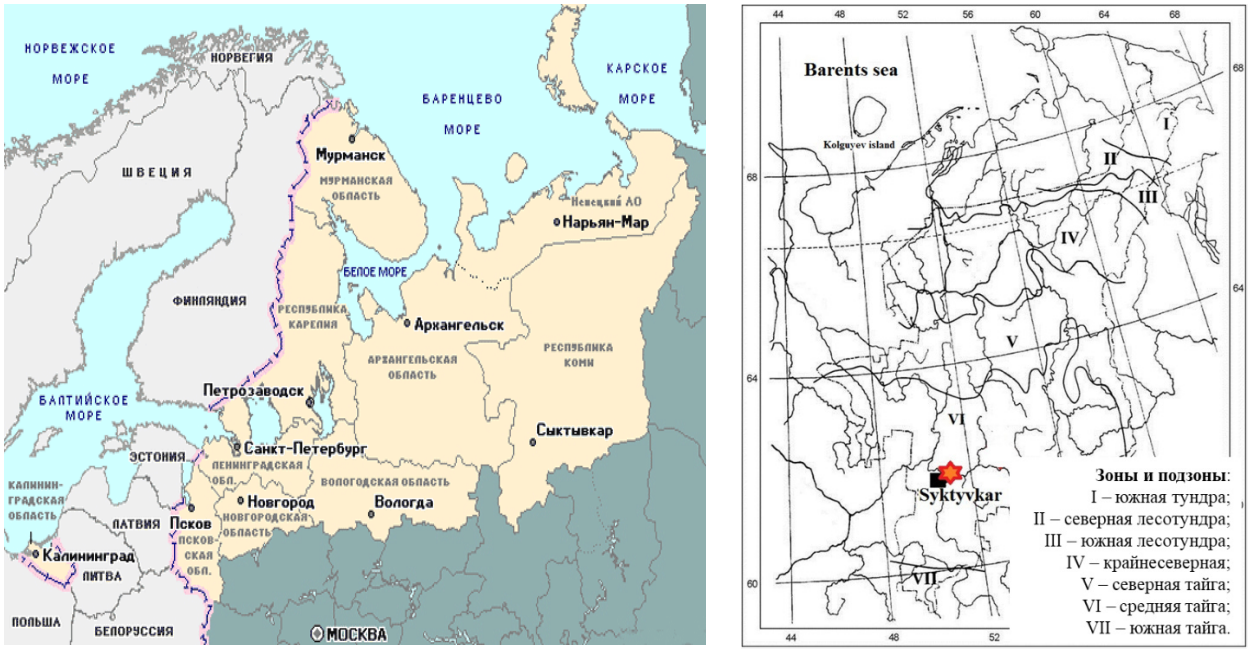
Kalit so‘zlar: Yevropa shimoli-sharqi, tundra, tayga, tuproqlar, tuproq xilma-xilligi, uglerod zaxiralari.

Введение. Почвы и почвенный покров являются основным резервуаром депонирования органического углерода (Сорг.) на Земле. Его запасы в почвах в 3-5 раз превышают запасы Сорг. в биомассе растений (Кудеяров, 2015). В связи с этим для понимания роли почв в глобальном балансе углерода, продукции и эмиссии парниковых газов, прогноза изменения среды в условиях региональных и глобальных изменений климата важна оценка содержания и запасов Сорг. в различных типах почв. Особенно актуально это для территории России, на долю которой приходится порядка 1/8,5 части суши Земли (Щепащенко и др., 2013).

Европейский северо-восток России (ЕСВР) занимает обширное пространство – от правобережья р. Северной Двины на западе до Уральского хребта на востоке, от Северных Увалов на юге до побережья Баренцева моря на севере. Эта территория издавна привлекала внимание исследователей, что было связано как с необходимостью сохранения влияния Российского государства в Арктике, так и с потребностью использования богатейших природных ресурсов этого региона (Силин, 2005; Филиппова, 2023). Первые научные данные об этой территории опубликованы уже в конце XVIII века, их появление связаны с именами таких известных исследователей, как академик И.И. Лепехин, естествоиспытатель А.А.Кейзерлинг, вице-адмирал и географ П.И. Крузенштерн, геолог и географ Э.К. Гофман, геолог и горный инженер А.И. Антипов, естествоиспытатель А.И. Шренк и др. Их исследования были направлены в первую очередь на оценку геологического строения региона, выявление месторождений ценных полезных ископаемых, оценку ресурсов растительного и животного мира. К этому же периоду относится и появление первых сведений о почвах и почвенном покрове этого обширного региона, систематическое и планомерное изучение которых началось в XX в. и продолжается по настоящее время (Горячкин, 2010; Лаптева и др., 2016).

Значительную часть ЕСВР занимает Республика Коми (РК), территория которой располагается в пределах Печорской и Мезенско-Вычегодской низменностей, Среднего и Южного Тимана, западного макро склона Уральских гор, включая Полярный, Приполярный и Северный Урал (рис. 1). РК по своей площади (416 тыс. км^2) занимает 11-е место в России и 2-е место – в ее европейской части, уступая лишь Архангельской области. Протяжённость РК с северо-востока на юго-запад – 1275 км, с севера на юг — 785 км, с востока на запад — 695 км. В связи со значительной протяженностью с севера на юг, в границах республики выделяют несколько биоклиматических зон и подзон: южная тундра с мерзлотными тундровыми почвами; лесотундра, в пределах которой проходит южная граница «вечной» мерзлоты; таежная зона с подзонами северной, средней и южной тайги. Благодаря специфике расположения РК, на ее территории представлены разнообразные ландшафты со всем многообразием соответствующих им типов и подтипов почв (Атлас почв..., 2010).

ISSN 2181-0826 4/2024 y.



А Б

Рис. 1. *Географическое положение территории Республики Коми (А) и границы биоклиматических зон и подзон в ее пределах (Б).*

Цель данной работы заключалась в обобщении данных о разнообразии почв Европейского Северо-Востока России на примере одно из наиболее обширных его регионов – Республики Коми и оценке в них запасов почвенного углерода.

Материалы и методы. В статье обобщены результаты многолетних почвенных исследований, проведенных на территории ЕСВР (включая РК) и представленных в многочисленных публикациях (Степень изученности..., 1997; Лаптева и др., 2016) и рукописных материалах Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Проанализированы данные, полученные сотрудниками Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в рамках различных проектов и тем НИР (Мажитова и др., 2003; Kuhry et al., 2013; Дымов и др., 2013; Пастухов, Каверин, 2013; Бобкова и др., 2014; Жангуров и др., 2019; Биопродукционный..., 2020; Osipov et al., 2021; Dymov et al., 2022; Лиханова и др., 2024; Путеводитель..., 2002, 2007, 2022; Trans-Ural..., 2004), в том числе неопубликованные данные.

На почвенных картах и в большинстве публикаций, особенно датируемых второй половиной XX века, классификационное разнообразие почв дано на базе «Классификации и диагностики почв СССР» (1977) с учетом региональных подходов (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010). В последние годы при проведении полевых исследований диагностику почв выполняли с учетом принципов современной диагностики и классификации почв России (Классификация..., 2004; Полевой..., 2008; Хитров, Герасимова, 2021, 2022), в ряде случаев при публикации данных названия почв приводили в соответствии с Международной классификацией (IUSS Working Group WRB, 2022).

В полевых условиях особое внимание обращали на определение плотности почв в ненарушенном сложении (Вадюнина, Корчагина, 1986). Углерод общий ($C_{общ}$) в образцах почв определяли на CNHS-анализаторе, что считается предпочтительным при проведении почвенных исследований (Khitrov et al., 2023). Содержание органического углерода ($C_{орг}$) рассчитывали по разнице между величиной $C_{общ}$ и содержанием углерода

карбонатов, массовую долю которых в образцах почв оценивали объемно-метрическим методом с использованием кальциметра 08.53 Eijkelkamp (SA07, США-Нидерланды) (ISO 10693). Запасы углерода (Q, т/га) в отдельных горизонтах (слоях) почв рассчитывали с учетом их плотности (ρ, г/см^3), мощности (h, см) и содержания в них $C_{орг}$ (%):

$$Q = p \cdot h \cdot C_{орг}$$

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Систематические почвенные исследования на территории Республики Коми – крупнейшего региона Европейского Северо-Востока начались с 40-х гг. прошлого столетия (Степень изученности..., 1997). За более чем 70 лет почвоведами пройдены маршрутами практически все уголки Республики Коми и граничащие с ней регионы Архангельской, Кировской, Свердловской областей, Ненецкого и Ямало-ненецкого округов. Подготовлены и опубликованы листы Государственных почвенных карт миллионного масштаба – P-39 «Сыктывкар» (1958), Q-39 «Нарьян-Мар» (1977), Q-40 «Печора» (1982), P-40 «Красновишерск» (1988), Q-41 «Воркута» (1999), а также почвенная карта на территорию РК масштаба 1 : 2,5 млн (Атлас почв..., 2010). Колоссальный вклад и роль в познание свойств и специфики формирования почв ЕСВР и РК внесли профессор, д.с.-х.н. Е.Н. Иванова, к.с.-х.н. О.А. Полынцева и проф., д.с.-х.н. И.В. Забоева (Лаптева и др., 2016). Под их руководством выполнены многолетние исследования свойств и режимов таежных и тундровых почв региона. Обобщенная сводка о разнообразии и свойствах почв Республики Коми приведена в ряде крупных монографий (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010; Почвы..., 2013) и статьях, где рассмотрено разнообразие почв, формирующихся в горных ландшафтах Приполярного Урала (Дымов и др., 2013; Дымов, Жангуров, 2014) и долинных ландшафтах рек (Лаптева, Балабко, 1999; Лаптева и др., 2020).

Анализ почвенной карты РК масштаба 1:2,5 млн свидетельствует о значительном разнообразии гранулометрического состава почвообразующих пород и, соответственно, формирующихся в границах РК почв. Основные площади (без учета площади водных поверхностей) занимают почвообразующие породы суглинистого гранулометрического состава различного генезиса – 50,3% от площади республики. На долю почвообразующих пород легкого гранулометрического состава (супеси, пески, в т.ч. слабо галечниковые) приходится около 36,9%, двучленных отложений (с различной сменой пород) – 9,9%. Кристаллические и метаморфические породы разного состава (кислые, основные), песчаники, известняки и другие карбонатных породах распространены на 2,9% площади РК. Почвообразующие породы, содержащие щебень и валунно-галечный материал (частицы скелета почвы диаметром > 2 мм), присутствие которого может оказывать влияние на расчет запасов почвенного органического углерода, занимают, включая территории горных ландшафтов, не более 50,8% от площади суши Республики Коми.

На территории РК основные площади приходятся на почвы таежных ландшафтов (78,5%). Почвы тундры занимают 8,8% от площади республики, горные ландшафты Полярного, Приполярного и Северного Урала – 7,3%, включая площади гольцов, лишенных почвенного покрова. Минимальные площади, несмотря на развитую речную сеть, приходятся на почвы речных долин – 4,4%. В тундровых и горных ландшафтах, в силу специфики рельефа, основные площади приходятся на автоморфные почвы – соответственно 54,7% и 93,8% от площади соответствующих ландшафтов. Второе место в тундре занимают почвы, занимающие аккумулятивные позиции (36,3%), третье – транзитные (18,6%). В горных ландшафтах на эти

ISSN 2181-0826 4/2024 y.

позиции приходится соответственно 0,6 и 5,6%. Разработка и внедрение в практику почвенных исследований новой классификации почв России (Классификация..., 2004; Полевой определитель..., 2008; Хитров, Герасимова, 2021, 2022) существенно расширили представление о разнообразии почв РК, особенно в зоне тундры и на территории горных ландшафтов Урала – регионов, для которых номенклатура и классификация почв в рамках «Классификации и диагностики почв СССР» (1977) не были разработаны.

Таблица 1

Распределение почв Республики Коми в соответствии с ландшафтами и занимаемыми позициями в рельефе

Ландшафты	Позиция в рельефе	Площадь почв	
		тыс. га	% от площади РК
Тундровые	Автоморфные	2005,4	4,81
	Транзитные	683,4	1,64
	Аккумулятивные	976,2	2,34
Таежные	Автоморфные	13095,9	31,42
	Транзитные	16310,5	39,14
	Аккумулятивные	3327,2	7,98
Горные	Автоморфные	2677,4	6,42
	Транзитные	160,4	0,38
	Аккумулятивные	17,1	0,04
	Гольцы	200,7	0,48
Долинные	– *	1849,6	4,44
Водные объекты		373,8	0,90
ИТОГО:		41677,4	100

*Примечание. * – без учета занимаемых позиций в рельефе местности.*

Обобщение всех полученных картографических материалов показало, что среди таежных автоморфных почв в РК ведущие позиции по площади распространения занимают почвы отдела альфе гумусовые почвы – это различные подтипы подзолов, включая подзолы глеевые. На их долю приходится до 14,8% от площади суши РК (рис. 2). Подзолы формируются во всех биоклиматических подзонах тайги на песчаных отложениях различного генезиса (древнеаллювиальные пески, флювиогляциальные отложения), в том числе на двучленных отложениях – песках, подстилаемых супесями и суглинками. Они развиты преимущественно под пологом сосновых или смешанных елово-сосновых лесов. Второе место занимают глееподзолистые почвы (подтип подзолистых почв в отделе текстурно-дифференцированных почв) и светлоземы иллювиально-железистые (отдел крио метаморфических почв). На их долю приходится порядка 11,9% от площади суши республики, они приурочены к подзонам северной, крайне северной тайги и лесотундры. Развиты под пологом еловых лесов. Глееподзолистые почвы формируются, как правило на средних и тяжелых суглинках, светлоземы иллювиально-железистые – на легко- и среднесуглинистых почвообразующих отложениях (Тонконогов, 2010). Различные подтипы подзолистых и дерново-подзолистых почв из отдела текстурно-дифференцированных почв занимают соответственно третье (4,9%) и четвертое (0,3%) место. Как и глееподзолистые почвы, они развиты под пологом еловых лесов, но приурочены к подзонам средней и южной тайги соответственно.

На водоразделах в таежной зоне РК, благодаря избыточному увлажнению (коэффициент увлажнения по Н.А. Иванову 1,3-1,9), складываются достаточно благоприятные условия для развития полу гидроморфных и гидроморфных почв, занимающих соответственно транзитные и аккумулятивные позиции рельефа в ландшафтах (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010).

Они формируются как на почвообразующих породах суглинистого гранулометрического состава, так и песчаного/супесчаного. На долю торфяно-подзолисто-глеевых почв, приуроченных к суглинистым почвообразующим породам, приходится соответственно 20.4% площади суши РК, торфяно-подзолов глеевых, развитых на отложениях легкого гранулометрического состава, в том числе на двучленных отложениях (песках и супесях, подстилаемых супесями и суглинками) – 19,1%. Болотные почвы занимают около 8% от площади суши республики.

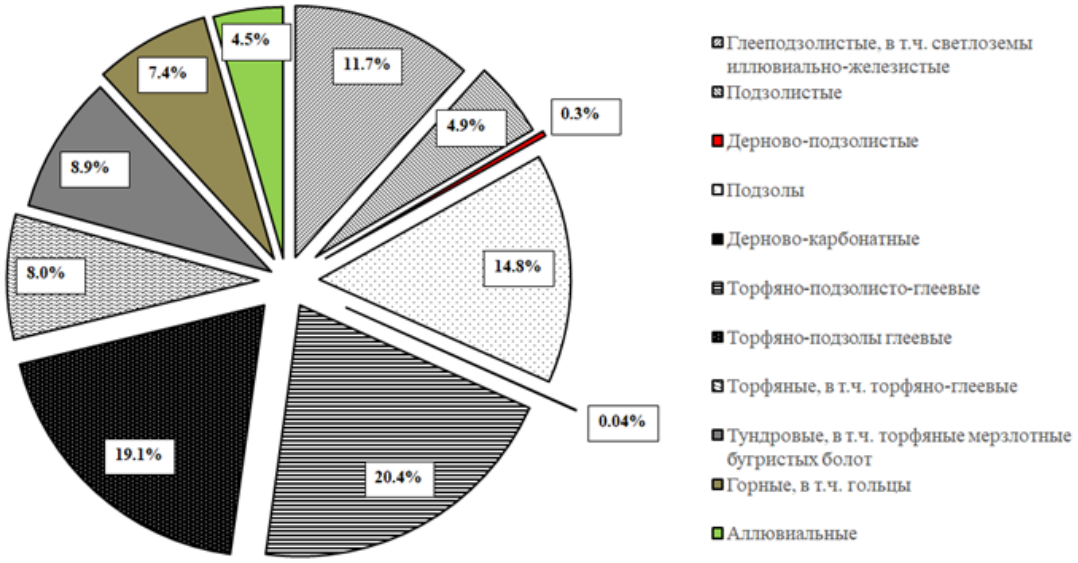


Рисунок 2 – Почвенный состав земельных ресурсов Республики Коми, % от площади суши Республики Коми.

Первые оценки запасов органического углерода на территории РК были выполнены для модельного участка, в качестве которого использован бассейн р. Уса – крупнейшего притока р. Печора, впадающей в Баренцево море (Мажитова и др., 2003; Kuhry et al., 2013). Общая площадь бассейна 93 тыс. км^2 и включает как северо-восточную часть территории РК, так и прилегающую к ней часть Ненецкого национального округа. Бассейн Усы расположен в области тундрово-таежного экотона с не сплошной многолетней мерзлотой (сплошная мерзлота занимает 19 % площади рассматриваемого модельного участка, не сплошная и островная – 55%, грунты без мерзлоты – 26%). Здесь представлены соответственно почвы как таежных, так и тундровых ландшафтов. Для бассейна Усы авторами выполнен сбор архивных, а также получены современные полевые данные, на их основе подготовлены почвенные базы данных, проведена корреляция типовой принадлежности почв региона с международной реферативной базой WRB, рассчитаны запасы углерода. Выполненные расчеты показали, что разброс запасов углерода в почвах региона составил от 63 до 800 т/га. В среднем для рассматриваемого бассейна в минеральных почвах запасы углерода оцениваются величиной порядка 128 т/га, в торфяниках – 762 т/га. Различий в запасах углерода между биоклиматическими подзонами в этом регионе, в следствии высокой доли здесь болотных и заболоченных экосистем, не было выявлено.

Анализ архивных и опубликованных материалов выявил ряд проблем, которые могли вносить определенную погрешность в оценку запасов углерода в почвах РК. В первую очередь следует отметить использование в разные периоды

ISSN 2181-0826 4/2024 y.

времени разных методических подходов для определения органического углерода. В последние 20-30 лет для определения содержания углерода в почвах используется преимущественно приборная база (CNH-анализаторы), в то время как исследования второй половины XX в. базировались на оценке содержания $C_{орг}$ в минеральных горизонтах методом Тюрина, в органогенных горизонтах – методом Анстетта, которые характеризуются неполным окислением органического вещества и занижением результатов относительно газохроматографического метода – метода сухого сжигания на CNH-анализаторах (Khitrov et al., 2023). Второй проблемой является отсутствие в ряде случаев данных определения углерода в органогенных горизонтах почв, что требовало введения пересчетных коэффициентов от величин потерь при прокаливании к содержанию $C_{орг}$ (Мажитова и др., 2003). Еще одна серьезная проблема – отсутствие в публикациях и архивных материалах реальных данных о плотности генетических горизонтов почв. Эта проблема при расчете запасов углерода решалось за счет применения регрессионных уравнений (Мажитова и др., 2003), в том числе предложенных О.В. Честных и Д.Г. Замолодчиковым (2004). Использование расчетных данных плотности почв могло приводить как к завышению, так и занижению результатов о запасах углерода, особенно в торфяных почвах болотных экосистем.

В последующем на территории северо-восточной части РК были выделены ключевые участки в экотоне «южная тундра – лесотундра» (Роговая 1, Роговая 2, Сейда), для которых подготовлены крупномасштабные карты 1:25000 и на основе конкретных почвенных разрезов, характеризующих выделенные почвенные разности, рассчитаны запасы углерода (Пастухов, Каверин, 2013; Пастухов и др., 2016; Пастухов, 2016). Как показали расчеты (табл. 2), для ключевых участков эко тонной полосы «южная тундра – лесотундра» запасы углерода в профилях варьируют в зависимости от типа почвы и мощности торфяной залежи от 97 до 713 т/га. В среднем запасы углерода в расчете на метровую толщу составили порядка 287 т/га (или 395 т/га с учетом мощности торфяников). Это несколько выше для минеральных почв по сравнению с расчетами, полученными для бассейна Усы.

Таблица 2

Мощность органогенных горизонтов и запасы углерода в основных почвенных группах ключевых участков экотона «южная тундра – лесотундра» (по: Пастухов, Каверин, 2013)

Реферативные почвенные группы WRB	Мощность ОГ*, см	Запас $C_{орг}$ в слое почвы, т/га			Вклад ОГ в запасы метровой толщи, %	Выборка, n**
		ОГ	0-100 см	Всего в профиле		
Роговая 1, 2, Сейда						
Folic Stagnosols	12±3***	40±22	150±37	150±37	27	22
Stagnosols (Органо-криомета-морфические и глееземы криометаморфические)****	6±3	21±09	102±20	102±20	21	16
Fluvisols (Аллювиальные)	4±3	14±06	130±17	130±17	11	9
Histic Fluvisols (Аллювиальные болотные)	8±7	34±49	181±45	181±45	19	9
Histic Gleysols (Торфяно-глееземы)	15±6	44±25	175±27	175±27	25	6
Fibric Histosols (Торфяные олиготрофные мерзлотные мочажин)	127±54	456±349	333±225	541±364	137	17

Реферативные почвенные группы WRB	Мощность ОГ*, см	Запас $C_{орг}$ в слое почвы, т/га			Вклад ОГ в запасы метровой толщи, %	Выборка, n**
		ОГ	0-100 см	Всего в профиле		
Прочие	5±4	24±19	97±06	97±06	25	3
Роговая 1						
Cryic Histosols (Торфяные олиготрофные мерзлотные бугров)	119±60	877±491	713±201	1005±462	123	7
Cryosols (Глееземы мерзлотные)	13±9	58±33	302±264	302±264	19	7
Роговая 2						
Cryic Histosols (Торфяные олиготрофные мерзлотные бугров)	110±65	668±337	570±96	783±318	117	7
Cryosols (Глееземы мерзлотные)	24±9	80±54	280±128	280±128	29	11
Сейда						
Cryic Histosols (Торфяные олиготрофные мерзлотные бугров)	256±111	1374±524	622 ±117	1470±525	221	32
Cryosols (Глееземы мерзлотные)	15±7	77±58	169±60	169±60	46	7
В среднем на участок	86±113	250	287	395	250	153

*Примечание. * ОГ – органогенный горизонт; ** n – количество почвенных разрезов, использованных для расчетов; *** приведены: среднее значение ± стандартное отклонение; **** – в скобках приведены названия почв в соответствии с современной классификацией России.*

Минимальные значения запасов органического углерода характерны для аллювиальных и крио метаморфических почв (соответственно 130±17 и 126±29 т/га$^{-1}$), максимальные – для различных типов торфяно-глееземов и торфяных почв (от 175±27 до 635±138 тС га$^{-1}$). Возрастание гидроморфизма ведет к увеличению мощности органогенных горизонтов в почвах тундры и лесотундры и возрастанию соответственно запасов $C_{орг}$. Эта закономерность прослеживается как для почв водоразделов, так и для почв долинных ландшафтов.

В предгорьях Приполярного Урала, согласно архивным материалам и полученным нами данным (таблица 3), минимальными запасами $C_{орг}$ (в среднем 100-120 т/га), вне зависимости от гранулометрического состава почвообразующих пород, характеризуются автоморфные почвы лесных экосистем (подзолы; подзолистые, в т.ч. глееподзолистые; светлоземы иллювиально-железистые) и аллювиальные почвы долинных ландшафтов. Второе место по запасам $C_{орг}$ (в среднем 160-200 т/га) принадлежит почвам тундровых сообществ (подбуры, буроземы, дерново-крио метаморфические почвы, глееземы) и почвам, формирующимся на выходах карбонатных пород.

Таблица 3

Мощность органогенных горизонтов и запасы органического углерода в основных типах почв низкогорных ландшафтов Приполярного Урала

Почвы	Мощность ОГ*, см	Запас $C_{орг}$ в слое почвы, т/га		Вклад ОГ, %	Выборка, n**
		0-50 см	0-100 см		
Подбуры, в т.ч. глееватые	4,4±2,4***	203±134	–	32,9±25,0	9
Торфяно-подбуры	10,3±1,2	377±78	377±78****	76,0±1,5	3
Глееземы	4,5±2,4	170±93	187±93****	37,4±19,9	4
Торфяно-глееземы, в т.ч. мерзлотные	20,8±6,6	373±192	412±357****	81,2±17,0	5

ISSN 2181-0826 4/2024 y.

Почвы	Мощность ОГ*, см	Запас $C_{орг}$ в слое почвы, т/га		Вклад ОГ, %	Выборка, n**
		0-50 см	0-100 см		
Подзолы	4,5±3,1	95±63	106±42	20,8±14,0	6
Светлоземы	5,3±1,2	93±85	138±20	27,2±12,9	3
Буроземы и дерново-криометаморфические	5,7±4,2	110±80	166±93****	24,3±10,9	6
Подзолистые, в т.ч. глееподзолистые	5,4±2,6	94±46	104±44	48,0±22,7	5
Торфяно-подзолисто-глеевые	18,3±3,9	360±199	376±208	81,4±13,5	4
Почвы на выходах карбонатных пород	4,9±2,7	176±35	202±61****	33,7±20,9	7
Аллювиальные	6,8±3,8	110±56	125±21	33,1±19,2	13
Торфяные	100	1305±766	2663±2255	98,6±1,7	9

*Примечание. * ОГ – органогенный горизонт; ** количество почвенных разрезов, использованных для расчетов; *** приведены: среднее арифметическое ± среднее квадратичное отклонение; **** с учетом мощности всего профиля почвы, если она меньше 100 см.*

Третье место (в среднем 370-410 т/га) занимают все варианты полу гидроморфных почв, четвертое (в среднем 2600-2700 т/га) – торфяные почвы болот.

В горных ландшафтах Приполярного Урала расчет запасов углерода в почвах выполнен на 0-50 см толщу почву, учитывая незначительную мощность профиля горных почв (Дымов и др, 2013). При расчете запасов почвенного углерода авторы учли содержание скелета (каменистого материала) в различных горизонтах почв. Как показали расчеты, запасы углерода в почвах Приполярного Урала значительно варьируют в зависимости от типа почв и их принадлежности к определенному высотному поясу. Так, в почвах горно-тундрового пояса запасы $C_{орг}$ составляют 77-393 т/га, горнолесного – 65-118 т/га. Однако, в силу ограниченного объема выполненных разрезов (для каждого типа почвы анализировали данные одного разреза), выявить какие-либо закономерности и зависимости запасов $C_{орг}$ от типа почвы или гранулометрического состава почвообразующих пород не представляется возможным (рис. 2). Можно лишь отметить, что в среднем почвы горно-тундрового пояса характеризуются несколько более высокими показателями, по сравнению с почвами горно-лесного пояса (рис. 2). Это может быть связано с более жесткими условиями формирования почв, тормозящими скорость минерализации растительного опада и способствующими аккумуляции слабо разложенного растительного материала в виде о торфованных органогенных горизонтов.

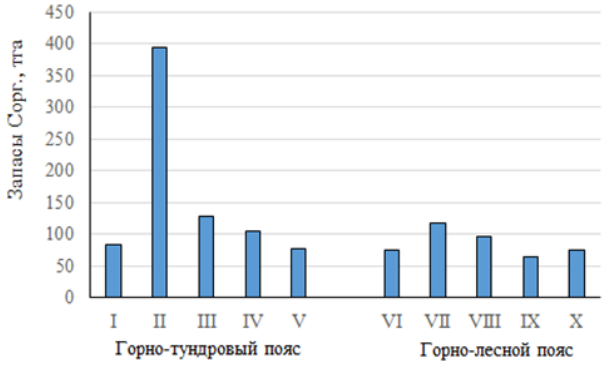


Рис. 2. *Запасы органического углерода в 0-50 см слое почв Приполярного Урала (по: Дымов и др., 2013): I – подбур иллювиально-гумусовый; II – подбур глееватый иллювиально-гумусовый; III – глеезем грубогумусированный; IV – глеезем мерзлотный; V – торфяно-глеезем мерзлотный; VI – подзол иллювиально-железистый; VII – светлозем иллювиально-железистый; VIII – бурозем элювиированный; IX – подзолистая с микро профилем подзола почва; X – торфянисто-подзолисто-глееватая почва.*

Анализ опубликованных данных (Osipov et al., 2021) свидетельствует о том, что в равнинной части таежной зоны Республики Коми оценены запасы $C_{орг}$ только для трех групп почв: (1) подзолов, сформированных на песчаных почвообразующих породах; (2) подзолистых почв, сформированных на суглинистых отложениях; (3) болотно-подзолистых (торфянисто-подзолисто-глееватых) почв, развитых на почвообразующих породах различного гранулометрического состава – песках, супесях, суглинках, различных вариантах двучленных отложений. Минимальные запасы $C_{орг}$ в метровой толще профиля характерны для подзолов – 38.0±0.9 т/га, максимальные – для полу гидроморфных торфянисто-подзолисто-глееватых почв – 126.6±1.3 т/га. Подзолистые суглинистые почвы, занимающие на водоразделах автоморфные позиции, имеют запасы $C_{орг}$ в пределах 76.6±1.2 т/га (рис. 3А) Вклад органогенных горизонтов в запасы $C_{орг}$ составляет соответственно 31, 26, 28%. Общей закономерностью является возрастание запасов почвенного углерода в ряду: подзолы → подзолистые почвы → торфяно-подзолисто-глеевые почвы. Для автоморфных почв различия в гранулометрическом составе пород обусловили возрастание запасов $C_{орг}$ в метровой толще почве в 3,8 раза. В ряду полу гидроморфных болотно-подзолистых почв (торфяно-подзолисто-глеевых) гранулометрический состав почвообразующих пород существенной роли в накоплении органического углерода в почвах региона не оказывает (рис. 3Б). По мнению авторов (Osipov et al., 2021), это обусловлено в первую очередь спецификой биоклиматических условий, обусловливающих активную консервацию органического вещества в почвах во всех экосистемах, приуроченных к транзитным позициям ландшафтов в виде оторфованных горизонтов, мощность которых варьирует в широких пределах – от 10 до 40 см. Второй причиной может быть недостаток имеющихся данных, что не позволило получить репрезентативные выборки для каждой из выделенных групп болотно-подзолистых почв.

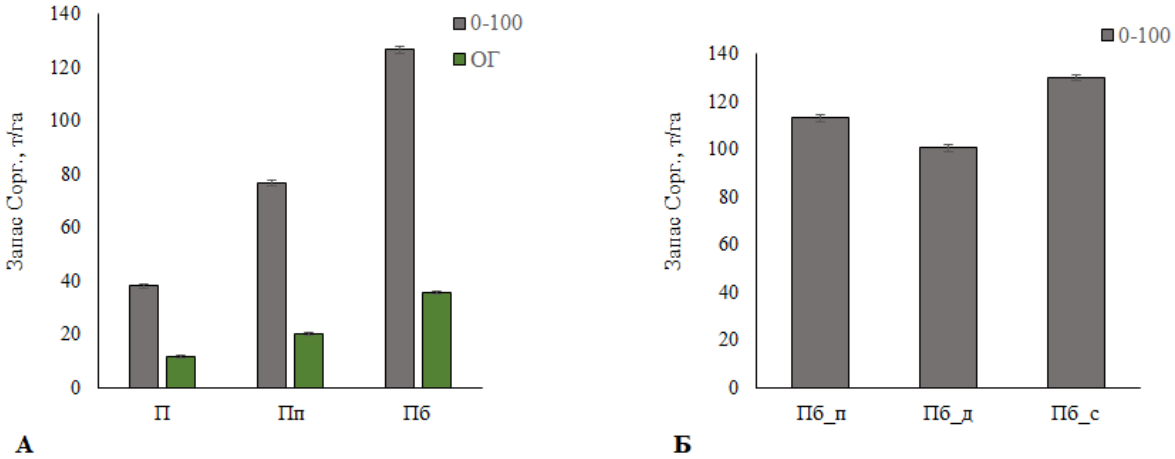


Рис. 3. *Запасы почвенного органического углерода в различных типах таежных почв Республики Коми (А) и рассчитанные дифференцированно для полугидроморфных почв, занимающих транзитные позиции в ландшафтах на разных по гранулометрическому составу почвообразующих породах (Б): подзолы (П); подзолистые суглинистые почвы (Пп); торфяно-подзолисто-глеевые почвы (Пб), развитые на суглинистых/глинистых (Пб-с), песчано-супесчаных (Пб-п) и двучленных отложениях (Пб-д) (по: Osipov et al., 2021).*

Сопоставление рассчитанных нами запасов $C_{орг}$ (табл. 3) с опубликованными данными о запасах углерода в почвах различных регионов РК (Osipov et

ISSN 2181-0826 4/2024 y.

al., 2021; Дымов и др., 2013; Пастухов, Каверин, 2013) свидетельствует о том, что для низкогорных ландшафтов предгорной части Приполярного Урала характерны более высокие значения запасов $C_{орг}$. Особенно это касается полугидроморфных и гидроморфных почв. В тоже время для отдельных типов почв (подбуры, подзолы) полученные нами значения близки к результатам других авторов. Более высокие значения запасов $C_{орг}$, полученные нами для полугидроморфных и гидроморфных почв, могут быть обусловлены преимущественным использованием при анализе архивных материалов не реальных данных о плотности почв, а расчетных, в соответствии с регрессионными уравнениями, предлагаемыми О.В. Честных и Д.Г. Замолодчиковым (2004), применение которых может приводить к завышению результатов при расчете запасов $C_{орг}$ в органогенных и торфяных горизонтах почв.

Следует отметить, что для торфяных почв болотных массивов РК и ЕСВР в опубликованных материалах приведены реальные данные о плотности отдельных горизонтов и слоев торфа на различных глубинах лишь в единичных случаях (Dymov et al., 2022). Как правило, при исследовании болотных почв авторы ограничивались оценкой незначительного количества показателей, без определения плотности почв (Атлас почв..., 2010). Выполненные расчеты с учетом полевого определения плотности торфяных горизонтов на разных глубинах торфяной залежи в трех болотных массивах РК (Dymov et al., 2022) показали, что запасы углерода в метровой толще торфа могут варьировать в зависимости от состава торфа и специфики условий формирования конкретной болотной экосистемы в очень широких переделах – от 429 до 1188 т/га. Это свидетельствует о том, что при оценках запасов углерода в торфяных почвах болотных экосистем первоочередное внимание при проведении полевых исследований должно быть обращено на определение плотности торфяных горизонтов.

На примере полигона интенсивного типа «Ляльский» площадью 2х2 км (РК, Княжпогостский район, координаты: 62°15′ с.ш., 50°41′ в.д.), созданного в рамках реализации ВИП ГЗ для мониторинга потоков и динамики соединений углерода в лесных сообществах средней тайги РК (Загирова, 2023), нами проведена оценка запасов углерода в почвах таежных лесов, развитых на двучленных почвообразующих породах ледникового генезиса. Установлено, что почвенный покров полигона весьма разнообразен – представлен почвами, относящимися, как минимум, к трем отделам (альфегумусовые, элювиальные, текстурно-дифференцированные) и 11 типам (подзолы, торфяно-подзолы, торфяно-подзолы глеевые, подзол-элювоземы, дерново-подзол-элювоземы, дерново-элювоземы, элю -воземы, торфяно-элювоземы, подзолистые, дерново-подзолистые, торфяно-подзолисто-глеевые). Значительное разнообразие почв в границах полигона обусловлена следующими факторами:

– неоднородностью рельефа (в границах полигона представлено сочетание выровненных поверхностей и склонов);

– разнообразием почвообразующих пород (в границах полигона встречаются ареалы распространения однородных суглинистых отложений, ареалы с чередованием смены пород с разным гранулометрическим составом, двучленные почвообразующие породы с разной мощностью песчаных отложений, подстилаемых карбонатными суглинками);

– разнообразием растительных сообществ (на территории полигона распространены сосновые, еловые и

лиственные сообщества разного уровня увлажнения);

– наличием последствий на наземные экосистемы природных (пожары, ветровалы) и антропогенных (рубки, подсечное земледелие) воздействий.

Как показали проведенные исследования, в границах полигона наиболее широко представлены альфегумусовые почвы (выделены на 19 пробных площадях), второе место занимают почвы элювиального отдела (9 пробных площадей), наименее представлены почвы отдела текстурно-дифференцированных почв (1 пробная площадь). При том еловые сообщест-ва более разнообразны по типовой принадлежности формирующихся под их пологом почв, чем сосновые и лиственные насаждения (рис. 4).



Рис. 4. *Разнообразие почв в разных типах растительных сообществ на территории полигона интенсивного типа «Ляльский» (Республика Коми): ПП – пробная площадь, цифрами указано количество пробных площадей.*

Расчет запасов $C_{орг}$ показал, что они варьируют в зависимости от типовой принадлежности почв от 62 до 181 т/га. Нарастание степени гидроморфизма почв способствует аккумуляции органического вещества в органогенных горизонтах торфяно-подзолов глеевых. В них же, за счет формирования в минеральной части профиля иллювиально-гумусово-железистых горизонтов BHF, отмечено возрастание в метровой толще профиля запасов $C_{орг}$ в 2,1-2,9 раза по сравнению с почвами автоморфного ряда – подзолами и автоморфными почвами отдела элювиальных почв. Вклад органогенных горизонтов в общие запасы углерода органического возрастает от автоморфных к полугидроморфным почвам от 22 до 42%. В минеральной толще почв основную роль в формировании запасов $C_{орг}$ играет аккумуляция органического вещества в первом полуметре профили – 54-86%. По сравнению с опубликованными для таежной зоны РК данными (Osipov et al., 2021), автоморфные почвы полигона «Ляльский», формирующиеся преимущественно на двучленных отложениях, занимают по запасам углерода промежуточное положение (62-70 т/га) между подзолами (49,7 т/га), развитыми на древнеаллювиальных песках боровых террас рек, и типичными подзолистыми почвами (96,6 т/га), представленными на однородных суглинистых отложениях. Это обусловлено периодическим застоем влаги в верхней части профиля на контакте с

ISSN 2181-0826 4/2024 y.

подстилающими суглинками и активным развитием мохового яруса в напочвенном покрове в отличии от подзолов и хорошо дренированных подзолистых почв. Почвы переувлажненных лесных массивов (торфяно-подзолы и торфяно-подзолы глеевые) на полигоне «Ляльский» близки по данному показателю к аналогичным почвам, в других регионах РК, соответственно 120-169 т/га и 162,2 т/га.

По запасам углерода в органогенных горизонтах почв полигона «Ляльский» не выявлено достоверных различий между автоморфными почвами, относящимся к разным отделам и разной типовой принадлежности (рис. 5). Подзолы, подзол-элювоземы, дерново-подзол-элювоземы и дерново-элювозмы близки по запасам $C_{орг}$ в горизонтах лесных подстилок, что обусловлено сходством в условиях почвообразования (двучленный характер почвообразующих пород, дренированные ландшафты), активным развитием в составе напочвенного покрова зеленых мхов и формированием органогенных горизонтов мощностью до 5-7 см. С ухудшением условий дренирования почв и возрастанием степени гидроморфизма наблюдается закономерное увеличение мощности оторфованных горизонтов (до 20-30 см), запасов в них органического углерода (в 1,7-3,6 раза) и пространственного варьирования этих параметров.

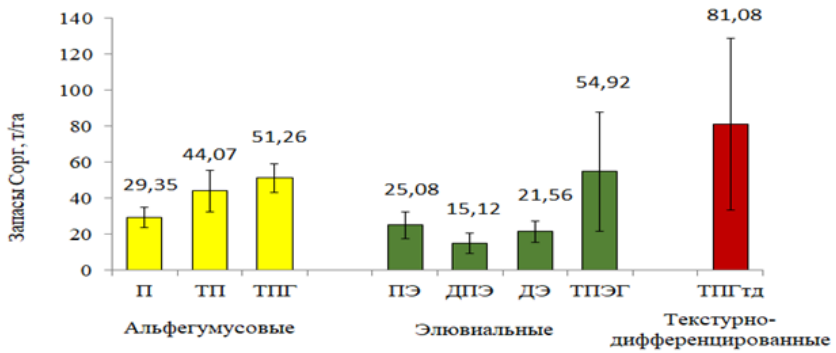


Рис. 5. *Варьирование запасов оргнического углерода в органогенных горизонтах почв пробных площадей тестового полигона «Ляльский»: П – подзолы; ТП – торфяно-подзолы; ТПГ – торфяно-подзолы глеевые; ПЭ – подзол-элювоземы; ДПЭ – дерново-подзол-элювоземы; ДЭ – дерново-элювоземы; ТПЭГ – торфяно-(подзол)-элювоземы глееватые и глеевые; ТПГтд – торфяно-подзолисто-глеевые почвы. Планками погрешности отмечены границы доверительного интервала для p = 0.95.*

Заключение

Таким образом, для крупнейшего региона Европейского Северо-Востока России – Республики Коми обобщены данные о почвах и запасах в них органического углерода. Отмечены основные проблемы, которые могут оказывать влияние на оценку запасов $C_{орг}$ в почвах – отсутствие единообразия в методиках определения углерода в почвах, отсутствие в большинстве публикаций реальных данных о величине плотности генетических горизонтов (или слоев) почв, необходимость применения регрессионных уравнений для пересчета данных потерь при прокаливания в $C_{орг}$ при отсутствии результатов их определения и величины плотности почв при отсутствии данных их реального определения в полевых условиях.

Показано высокое разнообразие почв в границах Республики Коми, что связано с разнообразием биоклиматических условий и почвообразующих пород на ее территории. Отмечено расширение почвенного многообразия в регионе при применении современной классификации почв России, за счет детальной разработки в ее рамках номенклатуры и диагностики тундровых и горных

почв, которые отсутствовали в классификации почв 1977 г. На основе имеющихся опубликованных почвенных карт рассчитаны площади основных почвообразующих пород и основных типов почв. Показано, что на территории Республики Коми, в силу биоклиматических условий (избыточное увлажнение, относительно низкие температуры воздуха) основные площади суши заняты полугидроморфными (39,5%) и гидроморфными (8,0%) почвами заболоченных хвойных лесов и болот. На долю хорошо дренированных почв лесных экосистем, развитых почвообразующих породах различного гранулометрического состав приходится 31,7% площади региона. Остальная территория занята почвами тундровых (8,9%), горных (7,4%) и долинных (4,5%) ландшафтов.

Рассчитаны запасы органического углерода в почвах различных экосистем. Показано, что в зависимости от типовой принадлежности запасы углерода в почвах могут отличаться на порядок. В таежно-тундровом экотоне запасы углерода в почвах в зависимости от их типовой принадлежности и ключевого участка варьируют в пределах от 63 до 800 т/га. В почвах таежных экосистем (подзолах, подзолистых и болотно-подзолистых) они оцениваются величинами 38-126,6 т/га. Изучение почвенного покрова тестового полигона «Ляльский», на котором представлены преимущественно почвы, развитые на двучленных отложениях, показало, что автоморфные почвы (подзолы, элювоземы, дерново-подзол-элювоземы и подзол-элювоземы) занимают промежуточное положение между запасами углерода в почвах, развитых на однородных песчаных и однородных суглинистых отложениях – соответственно 62-83, 49,7 и 96,6 т/га. Полугидроморфные почвы (торфяно-подзолы, торфяно-подзолы глеевые, торфяно-подзолисто-глеевые) переувлаженных лесных массивов, формирующиеся на разных по гранулометрическому составу почвообразующих породах близки по данному показателю – в среднем для таежной зоны республики запасы $C_{орг}$ оцениваются величиной 162,2 т/га, для почв тестового полигона «Ляльский» – 120-169 т/га. Запасы углерода в метровой толще гидромофных почв болотных экосистем варьируют от 429 до 1188 т/га.

В предгорьях и горных ландшафтах Приполярного Урала запасы почвенного углерода в расчете на метровую толщу в среднем выше по сравнению с таежными почвами равнинных ландшафтов. В зависимости от типовой принадлежности они варьируют в низкогорных ландшафтах в среднем от 100-120 т/га (подзолы, светлоземы, подзолистые почвы) до 2600-2700 т/га (торфяные почвы болот). В горных ландшафтах запасы углерода в полуметровой толще профиля, учитывая их щебнистость и близкое подстилание плотных пород, составили 65-393 т/га. Для все зон и подзон отмечено характерное для всех регионов возрастание запасов углерода в ряду автоморфные → полугидроморфные → гидроморфные почвы.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Список использованных литературы:

1. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева,

ISSN 2181-0826 4/2024 y.

И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2020. 356 с.

2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. СПб.: Наука, 2001. 278 с.

3. Бобкова К.С., Машика А.В., Смагин А.В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб.,2014. 270 с.

4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

5. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.

6. Дымов А.А., Жангуров Е.В. Разнообразие и генетические особенности почв Приполярного Урала / А. А. Дымов, Е. В. Жангуров // Пермский аграрный вестник. 2014. № 3 (7). С. 45–52.

7. Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение, 2013. №5. С. 507-516.

8. Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507-516.

9. Жангуров Е.В., Старцев В.В., Дубровский Ю.А., Дёгтева С.В., Дымов А.А. Морфолого-генетические особенности почв горных лиственничных лесов и редколесий Приполярного Урала / // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1415–1429. DOI: 101134/S0032180X19120141

10. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. 344 с.

11. Загирова С. В. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в Республике Коми // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 15 ноября 2023 года. Киров: Вятский государственный университет, 2023. С. 14–17.

12. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедев, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

13. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с

14. Кудеяров В.Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. 2015. №9. С. 1049–1060. doi:10.7868/S0032180X15090087.

15. Лаптева Е.М., Балабко П.Н. Особенности формирования и использования пойменных почв долины р. Печоры. Сыктывкар, 1999. 204 с.

16. Лаптева Е.М., Безносиков В.А., Шамрикова Е.В. Почвы и почвенные ресурсы Республики Коми: этапы исследований, итоги и перспективы // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 3 (27). С. 23-34.

17. Лаптева Е.М., Денева С.В., Дёгтева С.В. Пойменные почвы речных долин как объект особой охраны в системе ООПТ Республики Коми // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 8. С. 46–64. – DOI: 10.17076/bg1155.

18. Лиханова И.А., Денева С.В., Холопов Ю.В., Рудь А.А., Скребенков Е.А., Лаптева Е.М. Особенности лесных подстилок в разных типах среднетаёжных лесов // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 72-81. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-072-081

19. Мажитова Г.Г., Казаков В.Г., Лопатин Е.В., Виртанен Т. Геоинформационная система для бассейна р. Усы (Республика Коми) и расчет запасов почвенного углерода // Почвоведение. 2003. №2. С. 133-144.

20. Пастухов А.В. Методология пространственного моделирования запасов почвенного органического углерода на севере европейской России // Криосфера Земли. – 2016. – Т. 20, № 3. – С. 33–42. – DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(33-42).

21. Пастухов А.В., Каверин Д.А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах северо-восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1084–1094.

22. Пастухов А.В., Каверин Д.А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах северо-восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1084–1094. DOI: 10.7868/S0032180X13070083.

23. Пастухов А.В., Каверин Д.А., Щанов В.М. Построение региональных цифровых тематических карт (на примере карты запаса углерода в почвах бассейна р. Уса //

Почвоведение. 2016. № 9. С. 1042–1051. DOI: 10.7868/S0032180X16090100.

24. Полевой определитель почв России. М., 2008. 82 с.

25. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / Отв. ред. С. В. Дегтева, Е. М. Лаптева. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2013. 328 с.

26. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Лесная зона (сезонно-промерзающие почвы). Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2002. 100 с.

27. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги) / под ред. Г.А. Симонова. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2007. 84с.

28. Путеводитель научных почвенных экскурсий : VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школа молодых Ученых по морфологии и классификации почв «Почва – стратегический ресурс России» (Сыктывкар – Воркута – Киров, 10-17 августа 2022 г.) / под ред. Е.М. Лаптевой, А.А. Дымова, Д.А. Каверина. Сыктывкар – Москва: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 241 с.

29. Силин В.И. История географических и краеведческих исследований Европейского Северо-Востока России. Автореферат на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 07.00.10 – История науки и техники. Москва, 2005. 42 с.

30. Состояние изученности природных ресурсов Республики Коми / отв. ред. А.И. Таскаев. Сыктывкар, 1997. 200 с.

31. Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.

32. Филиппова Т.П. Освоение Европейского Северо-Востока России в научной мысли XIX века // Ученые записки Новгородского государственного университета. 2023. № 2 (47). С. 124-127.

33. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Диагностические горизонты в классификации почв России: версия 2021 г. // Почвоведение. 2021. №8. С. 899-910. DOI: 10.31857/S0032180X21080098

34. Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Предлагаемые изменения в классификации почв России: диагностические признаки и почвообразующие породы // Почвоведение. 2022. №1. С. 3-14. DOI: 10.31857/S0032180X22010087

35. Честных О. В., Замолодчиков Д. Г. Зависимости плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. 2004. №8. С. 937–944.

36. Щепащенко Д.Г., Мухортова Л.В., Швиденко А.З., Ведрова Э.Ф. Запасы органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2013. №2. С. 123–132. doi: 10.7868/S0032180X13020123.

37. Dymov A.A., Gorbach N.M., Goncharova N.N., Karpenko L.V., Gabov D.N., Kutyavin I.N., Startsev V.V., Mazur A.S., Grodnitskaya I.D. Holocene and recent fires influence on soil organic matter, microbiological and physico-chemical properties of peats in the European North-East of Russia // Catena. 2022, 106449. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106449

38. Dymov A.A., Gorbach N.M., Goncharova N.N., Karpenko L.V., Gabov D.N., Kutyavin I.N., Startsev V.V., Mazur A.S., Grodnitskaya I.D. Holocene and recent fires influence on soil organic matter, microbiological and physico-chemical properties of peats in the European North-East of Russia // Catena. 2022. 106449. https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106449

39. ISO 10693. Soil Quality – Determination of carbonate content - Volumetric method. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 1994.

40. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. 2022. [электронный ресурс: https://www.lss.ls.tum.de/boku/wrb-working-group/]

41. Khitrov N.B., Nikitin D.A., Ivanova E.A. Variability of the Content and Stock of Soil Organic Matter in Time and Space: An Analytical Review // Eurasian Soil Sc. 2023. Vol. 56. P. 1819–1844. https://doi.org/10.1134/S106422932360207X

42. Kuhry P., Mazhitova G.G., Forest P.-A., Deneva S.V. , Virtanen T. & Kultti S. Upscaling soil organic carbon estimates for the Usa Basin (Northeast European Russia) using GIS-based landcover and soil classification schemes // Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography. 2013. http://dx.doi.org/10.1080/00167223.2002.10649462

43. Osipov A.F., Bobkova K.S., Dymov A.A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia // Geoderma Regional. 2021. Vol. 27. P. e00427. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427.

44. Trans-Ural Polar Tour. Guidebook. 2nd edition / G. Mazhitova and E. Lapteva (eds). Syktyvkar: Institute of Biology Romi SC UrD RAS, 2004. 56 p.