

М.А. Кондратьева¹, И.А. Самофалова²

РАДИАЛЬНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ В ПОЧВАХ ПЕРМСКОГО КРАЯ

АННОТАЦИЯ

Геохимические барьеры в почвах контролируют состав и интенсивность геохимических потоков природных и техногенных веществ в ландшафтах. Пермский край является промышленным регионом. Суммарный объем выбросов от предприятий химической промышленности, нефтегазовой отрасли, транспорта, машиностроения, металлургии, электроэнергетики в 2020 г. превышал 380 тыс. т. Резкая пространственная смена элементов рельефа, широкая амплитуда температурных параметров климата и условий увлажнения создают разнообразное сочетание почвообразующих факторов и, как следствие, пестроту почвенного покрова на территории края, а также определяют разнообразие геохимических обстановок и различия в буферной способности почв. В задачи исследования входило картографирование радиальных геохимических барьеров для оценки их пространственной неоднородности с точки зрения механизмов закрепления и емкости барьеров. Тематической основой послужила почвенная карта РФ масштаба 1:2500000. База данных свойств почв составлена на основе данных ЕГРПР с привлечением региональных источников. Все карты и атрибутивные базы данных к ним созданы с помощью программы QGIS версии 3.2.2 (Maderia). Методика построения карт базируется на «горизонтном подходе», согласно которому в качестве радиальных геохимических барьеров рассматриваются генетические горизонты почв. Созданы две карты радиальных барьеров: поверхностных биогеохимических барьеров и физико-химических барьеров срединных горизонтов. Балльная оценка емкости поверхностных органических и органоминеральных барьеров почв региона производилась по показателям: мощность органогенных и органо-минеральных горизонтов, содержание гумуса, гранулометрический состав. Емкость поверхностных биогеохимических барьеров подчиняется географической закономерности: с севера на юг края снижается емкость органических и повышается емкость органо-минеральных барьеров. Среди внутрипочвенных физико-химических барьеров почв края были выделены: карбонатные, глеевые и сорбционные. В целом, на территории Пермского края преобладают окислительные условия с высокоемким сорбционно-седиментационным барьером в почвах. Сорбционно-седиментационный барьер имеют подзолистые и дерново-подзолистые почвы, занимающие 62 % площади края. Подзолы, подбуры, буротаежные почвы имеют мало- и умеренно емкий хемосорбционный барьер. Для почв лесостепи характерен умеренный сорбционно-седиментационный барьер. Глеевые барьеры гидроморфных почв занимают примерно 20 % площади. Данные карты могут быть рекомендованы для включения в раздел «Почвы» в региональный комплексный географический атлас.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: почвенно-геохимические карты, емкость барьера, поверхностные биогеохимические барьеры, внутрипочвенные физико-химические барьеры

¹ Пермский государственный аграрно-технологический университет, ул. Петропавловская, д. 23, 614000, Пермь, Россия; *e-mail*: pochva@pgsha.ru

² Пермский государственный аграрно-технологический университет, ул. Петропавловская, д. 23, 614000, Пермь, Россия; *e-mail*: samofalovairaida@mail.ru

Mariya A. Kondrateva¹, Iraida A. Samofalova²

RADIAL GEOCHEMICAL BARRIERS IN SOILS OF THE PERM TERRITORY

ABSTRACT

Geochemical barriers in soils control the composition and intensity of geochemical fluxes of natural and technogenic substances in landscapes. The Perm Territory is an industrial region. The total volume of emissions from enterprises of the chemical industry, oil and gas industry, transport, mechanical engineering, metallurgy, electric power industry in 2020 exceeded 380 thousand tons. A sharp spatial change in relief elements, a wide range of temperature parameters of the climate and moisture conditions create a diverse combination of soil-forming factors and, as a result, the diversity of the soil cover of the region, determine the manifold of geochemical settings and differences in the buffer capacity of soils. The objectives of the study included mapping radial geochemical barriers to assess their spatial heterogeneity in terms of anchoring mechanisms and barrier capacity. The soil map of the Russian Federation at a scale of 1:2500000 served as the thematic basis. The database of soil properties was compiled on the basis of the data of the Unified State Register of Soil Resources of Russia with the involvement of regional sources. All maps and attribute databases for them were created using QGIS version 3.2.2 (Maderia). The mapping technique is based on the “horizon approach,” according to which genetic soil horizons are considered as radial geochemical barriers. Two maps of radial barriers were created: surface biogeochemical barriers and physicochemical barriers of the middle horizons. The estimate of the capacity of the surface organic and organomineral barriers of soils in the region was carried out according to the following indicators: the thickness of organogenic and organomineral horizons, humus content, and granulometric composition. The capacity of surface biogeochemical barriers follows a geographical pattern: from north to south of the region, the capacity of organic barriers decreases and the capacity of organo-mineral barriers increases. Among the intrasoil physical and chemical barriers of the soils of the region, the following were distinguished: carbonate, gley and sorption. In general, the region is dominated by oxidizing conditions with a high-capacity sorption-sedimentation barrier in soils. Podzolic and soddy-podzolic soils, occupying 62 % of the region’s area, have a sorption-sedimentation barrier. Podzols, podburs, brown-taiga soils have a low- and moderately capacious chemisorption barrier. The soils of the forest-steppe are characterized by a moderate sorption-sedimentary barrier. Gley barriers of hydromorphic soils occupy approximately 20 % of the area. These maps can be recommended for inclusion in the “Soils” section of the regional comprehensive geographic atlas.

KEYWORDS: soil-geochemical maps, barrier capacity, surface biogeochemical barriers, intrasoil physical-chemical barriers

¹ Perm State Agro-Technological University, Petropavlovskaya str., 23, 614000, Perm, Russia; *e-mail:* pochva@pgsha.ru

² Perm State Agro-Technological University, Petropavlovskaya str., 23, 614000, Perm, Russia; *e-mail:* samofalovairaida@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Геохимические барьеры в почвах выполняют важные экологические функции в ландшафтах, контролируя состав и интенсивность природных и техногенных потоков веществ. Анализ буферной способности почв по отношению к поллютантам является важной составляющей эколого-геохимической оценки устойчивости почв и ландшафтов [Глазовская, 1992, 1997, 1999]. Теоретические основы учения о почвенно-геохимических барьерах разработаны А.И. Перельманом [Перельман и др., 1982], М.А. Глазовской [Глазовская, 1988, 1997, 2012]. Процессы концентрации химических веществ на барьерах включают в себя сорбцию, хемосорбцию и хемоседиментацию [Глазовская, 1997].

В настоящее время накоплен опыт картографирования геохимических барьеров в почвах. Учитывая сложность объекта картографирования, почвенные барьеры подразделяют на поверхностные и внутрисочвенные [Экологический атлас России, 2002; Национальный атлас России, 2007; Герасимова, Богданова, 2013]. В качестве поверхностных почвенных барьеров рассматриваются органические и органо-минеральные горизонты почв, которые связаны с биогеохимическим круговоротом веществ. На поверхностных биогеохимических барьерах в верхних почвенных горизонтах аккумулируются многие вредные вещества (тяжелые металлы, нефтепродукты, радионуклиды и др.), предохраняя минеральные горизонты почв от загрязнения. Экологическое значение поверхностных геохимических барьеров зависит от свойств органических компонентов и емкости, которые в сумме определяют длительность и прочность удержания загрязнителей, а также степень замкнутости биологического круговорота. При избытке загрязняющих веществ в корнеобитаемых горизонтах, превышающем поглотительную способность почв, они могут вовлекаться в биологический круговорот.

Не менее важное значение имеют внутрисочвенные барьеры, различающиеся не только механизмами закрепления химических веществ, но и различной специализацией по отношению к поллютантам, временем и характером функционирования, различной фиксированностью в пределах профиля [Глазовская, 2012].

Пермский край является крупным промышленным регионом. Основными источниками загрязнения являются предприятия химической промышленности, нефтегазовой отрасли, транспорт, машиностроение, металлургия, электроэнергетика. Выбросы в атмосферу от стационарных источников в 2020 г. составили 281 тыс. т и 101 тыс. т от передвижных источников, масса твердых веществ в составе выбросов 14 тыс. т¹.

Почвенный покров выполняет депонирующую функцию по отношению к загрязняющим веществам. Таким образом, изучение пространственной неоднородности буферной способности почв региона по отношению к поллютантам представляется актуальной задачей. В задачи исследования входило картографирование радиальных геохимических барьеров для оценки их пространственной неоднородности с точки зрения механизмов закрепления и емкости барьеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пермский край расположен в пределах восточной окраины Русской равнины (80 % территории) и западных предгорий Урала (20 % площади). Большая протяженность территории с севера на юг способствует проявлению широтной зональности, наиболее ярко представленной в равнинной части, где ландшафты средней тайги сменяются природными комплексами южной тайги, хвойно-широколиственных лесов и Кунгурской лесостепи.

¹ Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 г. Электронный ресурс: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения 29.04.22).

Почвообразующие породы разнообразны и представлены покровными отложениями, водно-ледниковыми, озерно-ледниковыми и древнеаллювиальными песками и супесями, элювиально-делювиальными глинами и суглинками, элювиями коренных пород – пермских глин, мергелей, известняков и песчаников.

Геологические особенности формирования земной коры, резкая пространственная смена элементов рельефа, широкая амплитуда температурных параметров климата и условий увлажнения создают разнообразное сочетание почвообразующих факторов и, как следствие, пестрый почвенный покров на территории края. Согласно [Национальный атлас..., 2011], в составе почвенного покрова региона преобладают почвы подзолистого типа (71,5 %). В северных районах на покровных суглинках и глинах сформировались подзолистые почвы и подзолы, в центральном и южных районах края – дерново-подзолистые почвы. В Кунгурской лесостепи распространены оподзоленные и в небольшом количестве выщелоченные черноземы [Коротаев, 1962; Почвенный покров ..., 2001]. Доля дерново-подзолистых почв составляет 42,7 % от общей площади края, подзолистых – 20,1 %. Более плодородные почвы – серые лесные и черноземы оподзоленные – составляют всего 3,5 %. На торфяные болотные и пойменные почвы приходится 11,5 %.

Тематической основой для карт радиальных почвенно-геохимических барьеров послужила сборка почвенной карты РФ масштаба 1: 2 500 000 с данными почвенных разрезов, пакет файлов почвенной карты РФ масштаба 1: 2 500 000 в формате ESRIShape¹. Общее количество почвенных единиц, составляющих содержание почвенной карты в пределах территории региона, – 32.

База данных свойств почв подготовлена на основе информации Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР)*² с привлечением региональных источников [Коротаев, 1962; Вологжанина, 2005; Протасова, 2008; Samofalova, 2021].

Все карты и атрибутивные базы данных к ним созданы с помощью программы QGIS версии 3.2.2 (Maderia) в системе координат: EPSG:32640–WGS 84 / UTM zone 40N; координатная сетка построена на основе системы координат: EPSG:4326–WGS 84.

Методические аспекты создания карт почвенно-геохимических барьеров ранее рассмотрены в работах [Глазовская, 1992, 1997, 2012; Герасимова, Богданова, 2013; Богданова, Герасимова, 2019]. Методика построения карт базируется на «горизонтном подходе», согласно которому в качестве радиальных геохимических барьеров рассматриваются генетические горизонты почв [Глазовская, 2012; Национальный атлас..., 2011]. Таким образом, почвенный профиль интерпретируется как сочетание различных по характеру и емкости радиальных барьеров. В соответствии с генетическим подходом, барьеры подразделяются на биогенные, выделяемые в верхних гумусово-ризосферных горизонтах, педогенные и педолитогенные в средней и нижней частях профиля, представленные текстурными, альфегумусовыми и аккумулятивно-карбонатными горизонтами, а также переходными к материнской породе глееватыми и карбонатными горизонтами [Глазовская, 2012]. Совмещение барьеров в почвенном профиле, их генезис и специфика функционирования определили необходимость раздельного картографического отображения поверхностных биогеохимических и внутрипочвенных физико-химических барьеров [Герасимова, Богданова, 2013; Богданова, Герасимова, 2019].

¹ Пакет файлов почвенной карты РФ масштаба 1: 2 500 000 в формате ESRI. Электронный ресурс: <https://infosoil.ru/reestr/content/1DB.php> (дата обращения 21.12.18).

² <http://egrpr.soil.msu.ru/download.php>

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Построены две карты радиальных барьеров: поверхностных биогеохимических барьеров и физико-химических барьеров срединных горизонтов.

Поверхностные биогеохимические барьеры «принимают на себя первый удар» при техногенных воздействиях. Согласно [Глазовская, 1997, 2012], биогеохимические барьеры разделяют на органические (торф, подстилки, опад, грубогумусовые горизонты) и органо-минеральные (собственно гумусовые горизонты). Органогенные горизонты являются механическими барьерами для твердых техногенных выпадений. И органогенные, и органо-минеральные горизонты служат также высокочемкими сорбционными и хемосорбционными барьерами. На биогеохимических барьерах верхних горизонтов аккумулируются многие вредные вещества, в том числе тяжелые металлы, нефтепродукты, радионуклиды, предохраняя минеральные горизонты почв от загрязнения. Вместе с тем, подстилочные, торфяные и грубогумусовые горизонты почв выступают в роли стартеров для ассоциации токсичных элементов, например, меди и никеля, вовлекая их в биогеохимический круговорот и водную миграцию [Глазовская, 1997].

Экологическая емкость барьеров, определяющая их способность к накопительной концентрации, определяется мощностью органогенных и органо-минеральных горизонтов. Емкость органо-минеральных барьеров, кроме прочего, зависит от содержания и состава гумуса, а также содержания илистой фракции. Мощность органогенных горизонтов в почвах может варьировать в значительных пределах. Торфяные горизонты болотных почв могут иметь мощность от нескольких десятков сантиметров до одного метра и более, несколько уступают им торфяные горизонты глееподзолистых торфяных, болотно-подзолистых и аллювиально-болотных почв, подбуров таежных [Кондратьева, Бажукова, 2020]. Мощность гумусовых горизонтов региональных почв варьирует от 1–3 см у подзолистых почв и 5–15 см у дерново-подзолистых до 30–40 см в почвах пойм, черноземах оподзоленных, дерново-глеевых и дерново-карбонатных почвах [Вологжанина, 2005; Samofalova, 2021]. Содержание гумуса в горизонтах А изменяется от 0,5–1 % в подзолистых почвах до 6–8 % в дерново-глеевых почвах, черноземах оподзоленных.

Балльная оценка емкости поверхностных органических и органо-минеральных барьеров почв региона выставлялась по показателям: мощность органогенных и органо-минеральных горизонтов, содержание гумуса, гранулометрический состав. Интервалы для оценки показателей мощности горизонтов и содержания гумуса определялись с помощью метода классификации данных «Естественные интервалы» в программе QGIS. Интегральный балл, характеризующий емкость барьеров, определялся как сумма индивидуальных баллов.

В соответствии с полученными баллами проведена группировка почв (рис. 1).

Значительная часть почв имеет один поверхностный биогеохимический барьер, обычно соответствующий торфяному горизонту (или перегнойному горизонту), либо одному из гумусово-аккумулятивных горизонтов. Однако в почвах таежно-лесной зоны часто наблюдается совмещение органических и органо-минеральных барьеров разной емкости. Легенда карты построена в виде двухуровневой матричной таблицы с двумя «входами»: органические барьеры и органо-минеральные барьеры, каждый из которых на втором уровне подразделяется по емкости на три градации: малоемкие, умеренные, высокочемкие.

Зональные почвы таежно-лесной зоны различаются по проявлению поверхностных геохимических барьеров. Подзолистые почвы и подзолы, занимающие 29 % площади края, имеют малоемкий органический барьер, представленный лесной подстилкой и грубогумусовым горизонтом. Дерново-подзолистые почвы, составляющие основной фон в почвенном покрове центральных и южных районов края, характеризуются сочетанием органического и органо-минерального барьеров с низкой емкостью поглощения. Их буферная способность

возрастает до умеренной за счет горизонта A_1 мощностью 8–15 см и содержанием гуматно-фульватного гумуса 2–4 %.

Наиболее высокоемкие барьеры тайги связаны с торфяными болотными почвами, имеющими значительную мощность торфяных горизонтов, превышающую 50 см. Вместе с тем, торфяные горизонты болотных почв, лесные подстилки, и грубогумусовые горизонты подзолистых почв выступают горизонтами-стартерами для целого ряда токсичных элементов.





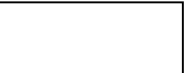

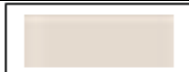


Органические	Органо-минеральные			
	нет	малоёмкие	умеренные	высокоёмкие
нет				
малоёмкие				
умеренные				
высокоёмкие				

Рис. 1. Условные обозначения карты поверхностных биогеохимических барьеров

Fig. 1. Legend of the map of surface biogeochemical barriers

Высокую поглотительную способность имеют органо-минеральные барьеры гумусовых горизонтов почв Кунгурской лесостепи – серые лесные и черноземы оподзоленные. В целинных серых лесных почвах на поверхности залегает маломощная, до 2 см, лесная подстилка АО, мощность гумусовых горизонтов составляет 15–30 см, содержание гумуса – 3–8 %, $C_{гк}/C_{фк}$ 0,7–1,0 [Вологжанина, 2005]. Провинциальными особенностями оподзоленных черноземов Кунгурской лесостепи является относительно небольшая мощность гумусовых горизонтов до 35–40 см с содержанием гумуса 9–11 % и резким спадом на глубине 40 см до 1 %. Тип гумуса – гуматный – $C_{гк}/C_{фк}$ больше 2,0 [Черноземы СССР..., 1978]. Почвы имеют тяжелый, преимущественно тяжелосуглинистый и глинистый, гранулометрический состав.

В аллювиальных кислых и насыщенных почвах ведущая роль принадлежит органо-минеральным биогеохимическим барьерам с умеренной и высокой емкостью поглощения соответственно. Этому способствуют наличие гумусовых горизонтов мощностью 20–35 см и более с содержанием гумуса 3–9 % и выше. В составе гумуса аллювиальных насыщенных почв преобладают гуминовые кислоты.

Для буро-таежных иллювиально-гумусовых почв, распространенных на востоке региона, характерно совмещение малоемкого органо-генного и умеренного по емкости органо-минерального барьеров. Под маломощной (3–5 см) относительно слаборазложившейся подстилкой в этих почвах залегает грубогумусовый горизонт АО мощностью 2–3 см. Ниже следует темно-серый с коричневатым оттенком суглинисто-щебнистый зернисто-комковатый гумусовый горизонт A_1 5–10 см. Содержание гумуса в горизонтах АО и A_1 – 15–28 % и 8–10 % соответственно, гумус фульватного типа ($C_{гк}/C_{фк}$ менее 0,5) [Почвенный покров..., 2001].

На основе разработанной группировки почв построена карта поверхностных биогеохимических барьеров (рис. 2). В северной части края преобладают почвы с органогенными барьерами, мощность которых изменяется от низкой до высокой. В центральной равнинной части края преобладают почвы с сочетанием малоемких органических и органо-минеральных поверхностных барьеров. На юге Пермского края, в подтаежной зоне, нарастает емкость органо-минеральных барьеров в почвах.

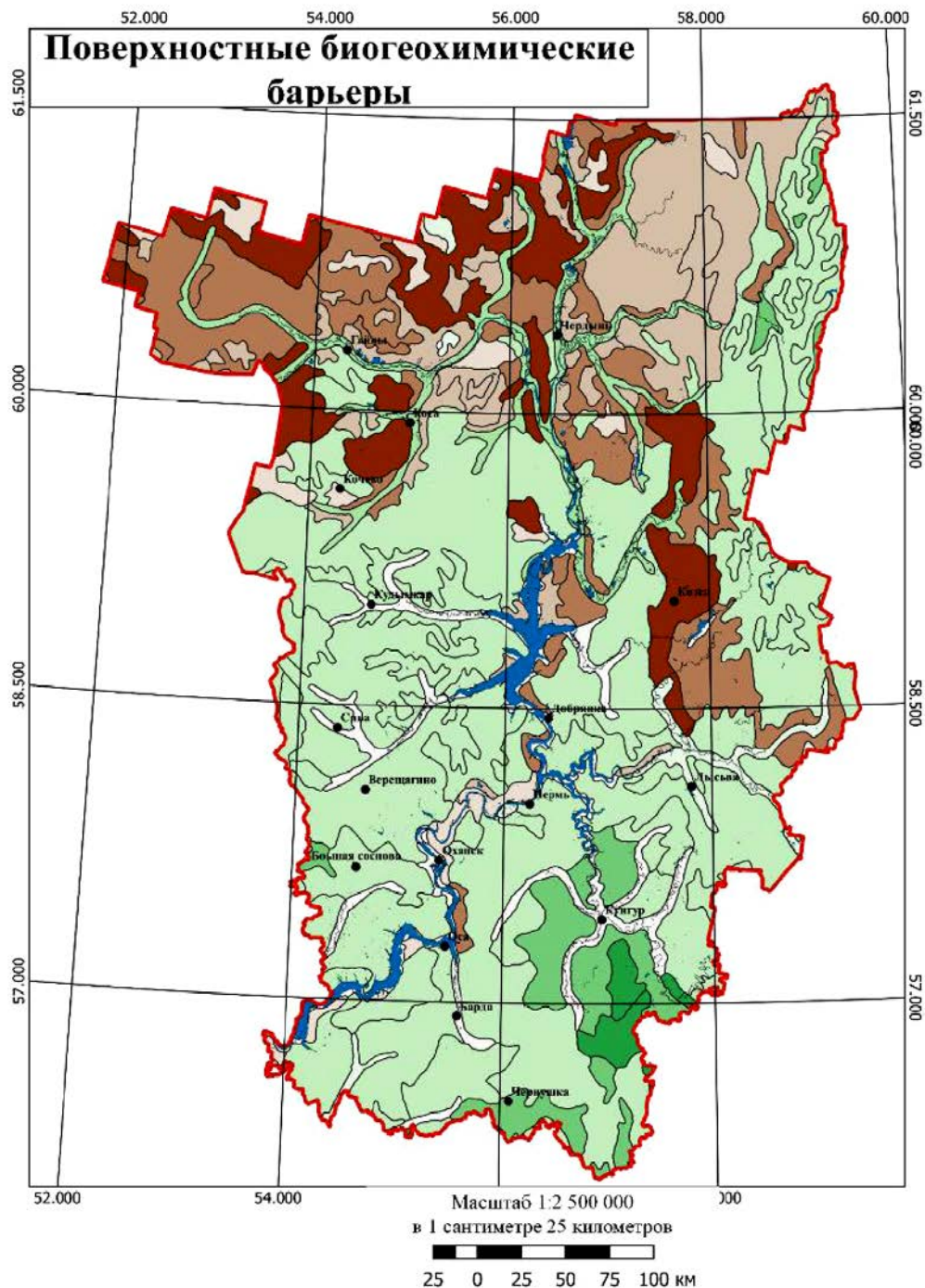


Рис. 2. Карта поверхностных биогеохимических барьеров Пермского края
Fig. 2. Map of surface biogeochemical barriers in the Perm Territory

Изучение геохимической дифференциации вертикального профиля различных элементарных ландшафтов является первым этапом эколого-геохимического анализа территории. По Б.Б. Полюнову, элементарные ландшафты представляют собой результат взаимодействия отдельных блоков или компонентов атмосферы, коры выветривания, почв, поверхностных и подземных вод, растений. Это территории, в пределах которых химический состав и напряженность миграционных потоков вещества между компонентами ландшафтов обладает сходством в той степени, в какой это обеспечивает единообразие структуры и функционирования системы в целом. Эти различия характеризуют внутрипочвенные физико-химические барьеры. Среди них различают: кислые, щелочные, карбонатные, глеевые, сорбционные, испарительные, сероводородные (резко восстановительные), мерзлотные.

Типы геохимических обстановок в почвах определены в соответствии с литературными данными [Кауричев, 1982; Национальный атлас..., 2011]. В почвах Пермского края выделены барьеры: сорбционно-седиментационный, хемосорбционный, карбонатный и глеевый [Глазовская, 1997, 2012; Национальный атлас..., 2011]. Хемосорбционные барьеры связаны, главным образом, с аморфными гидроксидами Fe, Mn и Al и их органо-минеральными соединениями в срединных горизонтах почв, а также наличием альфегумусовых горизонтов (BF, BH, BFH). Ярким примером хемосорбционного геохимического барьера являются железисто-гумусово-иллювиальные горизонты подзолов или подбуров [Samofalova, 2021].

В соответствии с емкостью хемосорбционные барьеры подразделены на малоемкие, умеренно емкие (рис. 3). Умеренно емкий хемосорбционный барьер имеют буроземы грубогумусовые иллювиально-гумусовые (Br^{иж}). Наименее выражен хемосорбционный барьер у песчаных подзолов и дерново-подзолов (Pi^{иж}, Pd^{иж}).

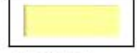



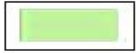

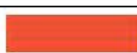

Условия	Сорбционно-седиментационный		Хемосорбционный		Карбонатный	Глеевый
	умеренный	высокоемкий	малоемкий	умеренный	□	□
преимущественно окислительные	 Л1, Л2, Л3	□	 Pi ^{иж} , ПБ, П ^{иж}	 Br ^{иж}	 Дк, Чоп	□
окислительные	□	 Pd1, Pd2, Pd3	□	□	□	□
переменные окислительно-восстановительные	□	 П1, П2, П3	□	□	□	 Гг, Лг, Пгг, Г, А, Ак
восстановительные	□	□	□	□	□	 Тб, Тв, Тп

Рис. 3. Условные обозначения к карте внутрипочвенных физико-химических барьеров
Fig. 3. Legend of the map of intrasoil physical and chemical barriers

Сорбционно-седиментационные барьеры обусловлены утяжелением гранулометрического состава и наличием в почвенном профиле текстурных и метаморфических горизонтов. Сорбционно-седиментационные барьеры подразделены на умеренные и высокоемкие. Высокоемкий сорбционно-седиментационный барьер имеют дерново-подзолистые (Pi^д, Pd^д, Pd³), умеренный – серые лесные почвы (Л1, Л3, Л2). Карбонатный барьер определяется по наличию форм карбонатов в почвенном профиле. Для большинства микроэлементов это совмещенный хемосорбционный и хемоседиментационный барьер [Глазовская, 1997]. Карбонатный барьер в профиле имеют дерново-карбонатные почвы (Дк), черноземы оподзо-

В целом, на территории Пермского края преобладают окислительные и переменные окислительно-восстановительные условия с высоко емким сорбционно-седиментационным барьером в почвах. Причем вторые характерны для среднетаежных почв в северной и предгорной части Пермского края. Преимущественно окислительные условия с умеренной емкостью сорбционно-седиментационного барьера характерны для серых лесных почв в Кунгурской лесостепи.

Хемосорбционный барьер образуется в преимущественно окислительных условиях с малой емкостью в подзолистых почвах средней тайги и умеренной емкостью в горных почвах Среднего Урала. Если в этих почвах создаются восстановительные и переменные окислительно-восстановительные условия соответственно, то формируется глеевый барьер. Также глеевый барьер в восстановительных условиях встречается в аллювиальных почвах пойм. Карбонатный барьер встречается фрагментарно в пределах Пермского края в дерново-карбонатных, серых лесных почвах и черноземах оподзоленных.

ВЫВОДЫ

Составленные карты радиальных почвенно-геохимических барьеров Пермского края позволяют оценить буферные свойства почв по отношению к техногенным воздействиям. На основе данных о мощности орагногенных и органо-минеральных горизонтов, содержании и составе гумуса, гранулометрическом составе дана оценка сорбционной емкости барьеров и выделено 9 групп почв, различающихся сочетанием и емкостью поверхностных барьеров. Емкость поверхностных биогеохимических барьеров подчиняется географической закономерности: с севера на юг Пермского края снижается емкость органических и повышается емкость органо-минеральных барьеров.

Среди внутрипочвенных физико-химических барьеров почв Пермского края выделены: карбонатные, глеевые и сорбционные, в том числе хемосорбционные и сорбционно-седиментационные. Переменные окислительно-восстановительные и восстановительные условия характерны для северной и горной частей Пермского края, где в большей степени проявляются хемосорбционный и глеевый барьеры.

Подзолистые и дерново-подзолистые почвы, занимающие 62 % площади, имеют высокочемкий сорбционно-седиментационный барьер, на котором может закрепляться значительная часть микроэлементов. Подзолы, подбуры, буротаежные почвы имеют мало- и умеренно емкий хемосорбционный барьер. Для почв Кунгурской лесостепи характерно наличие умеренного сорбционно-седиментационного и в меньшей степени карбонатного барьера. Глеевые барьеры гидроморфных почв занимают примерно 20 % площади. С ними связано снижение подвижности элементов, образующих нерастворимые соединения в восстановительных условиях, а также увеличение миграции таких элементов, подвижных в глеевой восстановительной обстановке.

Полученные карты могут быть использованы для оценки эколого-геохимической устойчивости ландшафтов Пермского края, оценки рисков загрязнения поллютантами, прогноза формирования экологических ситуаций под влиянием техногенных нагрузок. Данные карты могут быть рекомендованы для включения в раздел «Почвы» в региональный комплексный географический атлас.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданова М.Д., Герасимова М.И.* Почвенные карты в новом экологическом атласе России. Почвоведение. 2019. № 9. С. 1454–1470.
2. *Вологжанина Т.В.* Серые лесные почвы зоны широколиственных лесов Русской равнины. Пермь: ПГСХА, 2005. 454 с.
3. *Герасимова М.И., Богданова М.Д.* Мелкомасштабные карты геохимических барьеров. География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 9–17.
4. *Глазовская М.А.* Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2012. № 1. С. 8–14.
5. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 326 с.
6. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям [Методическое пособие]. М.: Изд-во Московского университета, 1997. 101 с.
7. *Глазовская М.А.* Почвенно-геохимическое картографирование для оценки экологической устойчивости среды. Почвоведение. 1992. № 6. С. 5–14.
8. *Глазовская М.А.* Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям. Почвоведение. 1999. № 1. С. 114–124.
9. *Кауричев И.С.* Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: КолосС, 1982. 247 с.
10. *Кондратьева М.А., Бажукова Н.В.* Опыт регионального почвенно-геохимического картографирования. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 1. С. 584–594.
11. *Коротаев Н.Я.* Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное издательство, 1962. 280 с.
12. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. 632 с.
13. Национальный атлас России. Т. 2. М.: Роскартография, 2007. 495 с.
14. *Перельман А.И., Гаврилова И.П., Касимов Н.С. и др.* Геохимия почв Срединного региона. Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 24–37.
15. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. Под общей редакцией Л.Л. Шишова, Н.В. Комова, А.З. Родина, В.М. Фридланда. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2001. 400 с.
16. *Протасова Л.А.* Генетическая характеристика и диагностика дерново-бурых и дерново-карбонатных почв Пермского края: монография. Пермь: ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2008. 157 с.
17. Черноземы СССР (Поволжье и Предуралье). Под ред. В.М. Фридланда, В.А. Носина, И.И. Лебедевой. М.: КолосС, 1978. 304 с.
18. Экологический атлас России. СПб.: КАРТА, 2002. 128 с.
19. *Samofalova I.A.* Typical features of short-profile soils in the Middle Urals. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/862/1/012009/pdf> / 862 (2021) 012009 IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/862/1/012009.

REFERENCES

1. *Bogdanova M.D., Gerasimova M.I.* Soil maps in the new ecological atlas of Russia. Eurasian Soil Science. 2019. No. 9. P. 1454–1470 (in Russian).
2. Chernozems of the USSR (Povolzh'ye i Predural'ye). Ed. V.M. Fridland, V.A. Nosina, I.I. Lebedeva. Moscow: KolosS, 1978. 304 p. (in Russian).
3. Ecological atlas of Russia. St. Petersburg: MAP, 2002. 128 p. (in Russian).
4. *Gerasimova M.I., Bogdanova M.D.* Small-scale maps of geochemical barriers. Geography and Natural Resources. 2013. No. 3. P. 9–17 (in Russian).
5. *Glazovskaya M.A.* Geochemical barriers in plain soils, their typology, functional characteristics and environmental importance. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2012. No. 1. P. 8–14 (in Russian).
6. *Glazovskaya M.A.* Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR. Moscow: Vysshaya shkola, 1988. 326 p. (in Russian).
7. *Glazovskaya M.A.* Methodological foundations for assessing the ecological and geochemical resistance of soils to technogenic impacts [Methodical manual]. Moscow: Moscow Publishing House, 1997. 101 p. (in Russian).
8. *Glazovskaya M.A.* Problems and methods for assessing the ecological and geochemical resistance of soils and soil cover to technogenic impacts. Eurasian Soil Science. 1999. No. 1. P. 114–124 (in Russian).
9. *Glazovskaya M.A.* Soil geochemical mapping to assess the environmental sustainability of the environment. Eurasian Soil Science. 1992. No. 6. P. 5–14 (in Russian).
10. *Kaurichev I.S.* Redox processes and their role in the genesis and soil fertility. Moscow: KolosS, 1982. 247 p. (in Russian).
11. *Kondratyeva M.A., Bazhukova N.V.* Experience of regional soil-geochemical mapping. InterCarto. InterGIS. 2020. Vol. 26. No. 1. P. 584–594 (in Russian).
12. *Korotaev N.Ya.* Soils of the Perm Region. Perm, 1962. 280 p. (in Russian).
13. National Atlas of Russia. Vol. 2. Moscow: Roskartografiya, 2007. 495 p. (in Russian).
14. National Atlas of Soils of the Russian Federation. Moscow: Astrel, 2011. 632 p. (in Russian).
15. *Perelman A.I., Gavrilova I.P., Kasimov N.S. et al.* Geochemistry of soils in the Middle Region, Geochemistry of landscapes and geography of soils. Moscow: Publishing House of Moscow University, 1982. P. 24–37 (in Russian).
16. *Protasova L.A.* Genetic characteristics and diagnostics of sod-brown and sod-carbonate soils of the Perm Territory: monograph. Perm: Perm State Agricultural Academy, 2008. 157 p. (in Russian).
17. *Samofalova I.A.* Typical features of short-profile soils in the Middle Urals. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/862/1/012009/pdf/862> (2021) 012009 IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/862/1/012009.
18. Soil cover and land resources of the Russian Federation. Team of authors. Under the general editorship of L.L. Shishova, N.V. Komova, A.Z. Rodina, V.M. Friedland. Moscow: Soil Institute. V.V. Dokuchaeva RAAS, 2001. 400 p. (in Russian).
19. *Vologzhanina T.V.* Gray forest soils of the broadleaf forest zone of the Russian Plain. Perm: PSAA, 2005. 445 p. (in Russian).