
THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. M. Savosko✉ Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

UDK 631.4

*Kyryvi Rih State Pedagogical University,
Gagarin Avenue, 54, Kryvyi Rih, Ukraine, 50086*

GENESIS OF THE IDEA AND DEFINITION OF PEDOGEOCHEMICAL BARRIERS OF HEAVY METALS MIGRATION

Abstract. The aims of this study were to consider the genesis's idea «geochemical barriers» and to invite a definition for «pedogeochemical barriers» by example of heavy metals' migration. Object of this study – scientific publications that show the results of heavy metals' content and distribution in soils. The concept of geochemical barriers was formulated by A. I. Perelman in 1961. At first ideas of this concept have been used for: 1) ordering of the geochemical conditions at hypergenesis zone, 2) justification the concept of geochemical field; 3) mathematical modeling of geochemical processes, 4) effective mineral exploration. With the passage of time, this concept has become successfully implemented in lithology, hydrogeology, soil science, geochemistry environment. In the XXI century geochemical barriers used in the development of rehabilitation technology of contaminated lands and limit the spread of pollutants. The concept of geochemical barriers began to be used in soil science, through the work of V. A. Kovda (1972), A. A. Rode (1975), M. A. Glazovskaj (1988). Later, the list of researchers who used this idea in their works has increased significantly. However, these researchers: 1) was performed a mechanical transfer this idea from geochemistry to soil science, 2) use this idea mainly for environmental protection, 3) used exclusively of the geochemistry methodology and of the geochemistry classification schemes. As for soil science the best analogue of «geochemical barriers» should recognize the term «pedogeochemical barriers». An essence pedogeochemical barrier, in our opinion, is as follows. In hypergenesis zone the geochemical barriers act as «situational and contrast» phenomenon. In soil profile the pedogeochemical barriers act as «substation and reaction» phenomenon. We are supposed to that the soil profile is a multiaspect complex of pedogeochemical barriers. At that some of them can be localized within several soil horizons. At the same time, several such barriers can be located in one soil horizon. Therefore, in the refined form, a pedogeochemical barrier should be understood as part of the soil profile, where, as a result of the formation of special conditions for substitution-reaction interactions, the accumulation of certain chemical elements occurs. Designed by A. I. Perelman's doctrine of geochemical barriers has found a varied and successful application in geochemistry, geology, lithology, mineralogy, and in other contiguous sciences. At present, the ideas of this exercise are very important for a fundamental understanding of the biogeochemical functions of the pedosphere as the theoretical basis for preserving the biosphere and improving the soil in conditions of modern technogenesis. In our understanding, the pedogeochemical barrier is part of the soil profile, where, as a result of the formation of special conditions for substitution-reaction interactions, the accumulation of certain chemical elements occurs. In further studies it is expedient to consider:

✉ Tel.: +38067-985-25-70, e-mail: savosko1970@gmail.com

DOI: 10.15421/041712

ISSN 1684-9094. Gruntoznavstvo. 2017. Vol. 18, no. 3-4

21

mechanisms of action, typology, parameters of pedogeochemical barriers, and also to analyze these parameters on the example of heavy metals in chernozems of ordinary and southern.

Key words: soil, heavy metals, geochemical barriers, pedogeochemical barriers.

УДК 631.4

В. М. Савосько

канд. біол. наук, доц.

*Криворізький державний педагогічний університет,
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, Україна, 50086,
тел.: +38067-985-25-70, e-mail: savosko1970@gmail.com*

ГЕНЕЗИС ІДЕЇ ТА ДЕФІНІЦІЯ ПЕДОГЕОХІМІЧНИХ БАР'ЄРІВ МІГРАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Анотація. На підставі аналізу результатів власних досліджень та узагальнення даних наукових публікацій проаналізовано сучасні погляди щодо поняття «геохімічний бар'єр», а також розглянуто інвазію цього поняття в ґрунтознавство. Зроблено висновок, що концепція геохімічних бар'єрів надзвичайно актуальна для сучасного ґрунтознавства. Однак спроби її впровадження носили зовнішній механічний характер і тому були малорезультативні. Сутність і особливість педогеохімічних бар'єрів полягає в принципі їх дії. Вони проявляються як «субстанційно-реакційний феномен», а класичні геохімічні бар'єри – як «ситуаційно-контрастний феномен». У подальших дослідженнях доцільно розглянути: механізми дії, типологію, параметри педогеохімічних бар'єрів, а також проаналізувати ці параметри на прикладі важких металів у чорноземах звичайних і південних.

Ключові слова: ґрунт, важкі метали, геохімічні бар'єри, педогеохімічні бар'єри.

УДК 631.4

В. Н. Савосько

канд. биол. наук, доц.

*Криворожский государственный педагогический университет,
пр. Гагарина, 54, Кривой Рог, Украина, 50086,
тел.: +38067-985-25-70, e-mail: savosko1970@gmail.com*

ГЕНЕЗИС ИДЕИ И ДЕФИНИЦИЯ ПЕДОГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. На основании анализа результатов собственных исследований и обобщения данных научных публикаций рассмотрены взгляды на понятие «геохимический барьер» и проанализирована инвазия этого понятия в почвоведение. Сделано заключение, что концепция геохимических барьеров чрезвычайно актуальна для современного почвоведения. Однако попытки ее внедрения носили внешний механический характер и поэтому были малорезультативны. Сущность и особенность педогеохимических барьеров заключается в принципе их действия. Они проявляются как «субстанционно-реакционный феномен», а классические геохимические барьеры – как «ситуационно-контрастный феномен». В дальнейших исследованиях целесообразно рассмотреть: механизмы действия, типологию, параметры педогеохимических барьеров, а также проанализировать эти параметры на примере тяжелых металлов в черноземах обыкновенных и южных.

Ключевые слова: почва, тяжелые металлы, геохимические барьеры, педогеохимические барьеры.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема сбалансированного взаимодействия человека и природы до сих пор остается нерешенной и поэтому очень актуальной. При этом для достижения экологического консенсуса очень важно понимание уникальнейших свойств почвы как незаменимого компонента биосферы, ее «биогеохимической мембраны» и «геохимического реактора». Также необходимо отметить, что к числу актуальных задач современного почвоведения относят чрезмерное накопление в почвах загрязнителей, среди которых особого внимания заслуживают тяжелые металлы

(ТМ). Общеизвестно, что чрезмерное содержание металлов в почвах обуславливает ряд негативных последствий для биосферы и здоровья людей. Кроме того, ТМ характеризуются длительными периодами полувыведения из почв, которые измеряются десятками и сотнями лет, а в ряде случаев – и тысячами лет (Bradl, 2005; Dobrovolskyi, Nykytyn, 2000; Hryshko et al., 2012; Savosko, 2016).

В последние 10–20 лет разработано и апробировано ряд очень эффективных технологий оздоровления почв, загрязненных ТМ. Однако в подавляющем большинстве случаев эти технологии весьма дорогостоящие и медленно действующие, что существенно ограничивает их широкомасштабное применение. Поэтому так актуален поиск новых идей и обоснование инновационных концепций, которые бы позволили понять и мобилизовать естественные регенерационные свойства почвы.

Среди достижений научной мысли второй половины XX века особое место занимает концепция геохимических барьеров (Perelman, 1961). Время и практика показали ее состоятельность в решении разнообразных проблем геохимии, в том числе и обусловленных загрязнением окружающей среды. Однако предпринятые попытки имплементации этой идеи в почвоведение выявились практически безрезультативными. Основная причина этого – внешний механический подход, отсутствие должного внимания к особенностям почвы и к ее уникальной структурно-функциональной организации.

Цель работы – рассмотреть генезис идеи и предложить дефиницию педогеохимических барьеров на примере миграции тяжелых металлов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследования – научные публикации, касающиеся содержания и распределения ТМ в почвах.

Методы исследований – формализация, идеализация, абстрагирование, индукция/дедукция, анализ/синтез, аналогия, классификация и моделирование.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геохимические барьеры миграции. Как нами полагается, научно-теоретической «предтечей» учения о геохимических барьерах следует признать В. И. Вернадского, которым еще в 20-е годы XX века впервые была высказана мысль о значимом влиянии геохимической обстановки на результаты миграции элементов в коре выветривания (Vernadskyi, 1969). Но она осталась без должного внимания геохимиков, и в 20–50-е годы XX века восторжествовала парадигма о доминировании свойств химических элементов, которые в основном и предопределяют их распределение в зоне гипергинеза. При этом влияние на миграцию химических элементов внешних факторов признавалось лишь на уровне вторичных эффектов (Saukov, 1950). Однако накопленные к середине XX века многочисленные данные стали существенно противоречить этой парадигме. Их творческое осмысление подтолкнуло Б. Б. Польшова к идее придать большее значение геохимической среде при объяснении содержания химических элементов в ландшафтах (Polyinov, 1956).

Развивая эту мысль, А. И. Перельман предложил понятие/концепцию геохимических барьеров (Perelman, 1961). В его трактовке геохимические барьеры – это «те участки земной коры, в которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация» (Perelman, 1989).

В дальнейшем, в 60–80-е годы XX века, состоятельность концепции геохимических барьеров была неоднократно подтверждена. Так, теоретическими приобретениями науки следует назвать ее успешное использование для: систематизации геохимической обстановки в зоне гипергинеза; обоснования понятия геохимического поля; математического моделирования геохимических процессов. Кроме того, эта концепция позволила проводить более эффективный поиск полезных

ископаемых. Вместе с тем нельзя не отметить, что распространение идей геохимических барьеров осуществлялось в основном лишь геохимиками, геологами и, как исключение, географами.

Ситуация существенным образом изменилась в 90-е годы XX века, когда идеи геохимических барьеров стали успешно реализовываться в литологии, гидрогеологии, почвоведении, геохимии окружающей среды. Логическим следствием этого стало проведение Международной конференции «Геохимические барьеры в зоне гипергенеза» (*Geohimicheskie bareryi v zone gipergineza*, 2002). Практически одновременно, благодаря стараниям ученика А. И. Перельмана – В. А. Алексеенко, понятие геохимических барьеров было комплексно изложено в учебнике «Экологическая геохимия» (Alekseenko, 2000) и в учебном пособии «Геохимические барьеры» (Alekseenko, 2003).

В XXI веке идеи геохимических барьеров успешно применялись при разработке технологий оздоровления загрязненных земель и ограничении распространения поллютантов. При этом считалось перспективным использовать естественные барьерные свойства геосистем и/или специально создавать барьеры миграции. Кроме того, эта концепция позволила по-новому взглянуть и на ряд актуальных вопросов современного естествознания: организацию, устойчивость и буферность биосистем; формирование почвенно-геохимических катен, геохимию сопряженных ландшафтов.

Инвазия идеи в почвоведение. Вероятно первым, кто начал внедрять понятие геохимических барьеров в почвоведение, был В. А. Ковда, который применил ее при рассмотрении закономерностей распределения микроэлементов в почвах (Kovda, 1973). Примерно в это же время термин «геохимический барьер» упоминался в толковом словаре по почвоведению под редакцией А. А. Роде (*Tolkoviyu slovar po pochvovedeniyu*, 1975).

Первыми учебными пособиями, где идеи геохимических барьеров использовались в почвоведении, стали учебники М. А. Глазовской «Геохимия природных и техногенных ландшафтов» (Glazovskaya, 1988) и А. И. Перельмана «Геохимия» (Perelman, 1989). Так, М. А. Глазовская, анализируя техногенное загрязнение ландшафтов, применяла термины «ландшафтно-геохимические барьеры» и «почвенно-геохимические барьеры», не приводя при этом их определений. Этим же автором также было рассмотрено размещение геохимических барьеров в почвенных профилях 16 типов почв. А. И. Перельман на примере основных типов почв Западной Сибири и Казахстана проанализировал расположение в профиле основных геохимических барьеров.

Важным этапом научной инвазии идей геохимических барьеров в почвоведение следует назвать Международную конференцию «Геохимические барьеры в зоне гипергенеза» (*Geohimicheskie bareryi v zone gipergeneza*, 2002). Однако в ее материалах доминировали: механический перенос идеи из геохимии в почвоведение, а также использование типологии А. И. Перельмана и графических схем М. А. Глазовской.

В последние 10–15 лет внедрение концепции геохимических барьеров в почвоведение имело место в серии статейных публикаций (Gavrilova & Bogdanova, 2000; Gennadiev & Kasimov, 2004; Kasimov et al, 2012; Kharytonov, 2006; Kozlovskiy, 2009; Kuzmin, 2000; Maximovich, 2014; Scheglov et al, 2013; Vodyanitskiy, 2014a, 2014b). Однако для этих работ характерно: 1) авторство представителей «географического дивизиона» почвоведения, 2) использование классификационных схем А. И. Перельмана и М. А. Глазовской, 3) преимущественная направленность на улучшение состояния окружающей среды, 4) попытки объяснить закономерности распределения химических элементов в пределах почвенного профиля, катены и ландшафта.

Примерно в это же время в обстоятельных монографиях (Dabahov et al, 2005; Kovaleva et al., 2012; Stepanova & Korenkova, 2010; Trifonova, 2007; Vasilev & Chaschin, 2011) и учебных пособиях (Chertko, 2008; Maksimovich & Nayrulina, 2011)

также предпринимались попытки внедрить идеи геохимических барьеров в почвоведение. Однако их авторы так и не вышли за пределы постулатов А. И. Перельмана и типологических схем М. А. Глазовской.

Нельзя не отметить, что почвоведы, которые представляют «фундаментальный дивизион» почвоведения, до сих пор весьма сдержанно относятся к геохимическим барьерам. Так, в их публикациях, где представлено глобальное осмысление достижений современного почвоведения и определение ее новых горизонтов, отсутствует упоминание о геохимических барьерах (Holubets, 2008; Karpachevskiy, 2006; Shoba, 2009; Sparks, 2001; Vodyanitskiy, 2010). В то время как в перечне актуальнейших проблем почвоведения этими же авторами озвучиваются вопросы, связанные с определением численных параметров экологических и биосферных функций почв; выявлением пределов устойчивости почв к антропогенным загрязнителям; разработкой технологий санации и оздоровления загрязненных территорий; практической реализацией концепции устойчивого развития в природоохранную деятельность. При этом беглого взгляда на эти проблемы достаточно для понимания того, что они сопряжены с химическими аспектами почвы и ее геохимическими барьерами.

Педогеохимические барьеры. В нашей публикации концепция педогеохимических барьеров миграции предполагает следующую логику изложения: 1) обоснование понятийного аппарата, 2) разработка и уточнение дефиниции.

Понятийный аппарат. Как известно, современное почвоведение дифференцировано на направления, названия которых включают слова: «почвоведение», «почва», «почвенная». Следовательно, как аналог термина «геохимические барьеры» можно использовать понятие «почвенные геохимические барьеры». Однако оно громоздко и, по сути, представляет собой продукт механического переноса идей из геохимии в почвоведение.

Начиная с классических работ В. В. Докучаева, для обозначения науки о почве также использовалось понятие «педология». Этимология слова проста и основана на греческих словах: *πεδον* (педон) – почва и *λογος* (логос) – знание, наука. В этой связи уместно предложить понятие «хемопедологические барьеры». Однако оно несколько неблагозвучно и пафосно, кроме того – не в полной мере отображает сущность явления.

А. И. Перельман, рассматривая методологические особенности геохимии как науки, неоднократно подчеркивал, что геохимия – это не «химия Земли». При этом им отмечалось существенное различие между геохимией (преимущественно «полевая наука») и химией (преимущественно «лабораторная наука») (Perelman, 1961, 1972).

Нами полагается, в почвоведении смысловым подобием геохимии является педогеохимия, которая изучает содержание, миграцию и трансформацию отдельных химических элементов и их минералов. Поэтому, по нашему глубокому убеждению, наилучшим аналогом геохимических барьеров следует признать термин «педогеохимические барьеры». Также нельзя не отметить, что этот термин не является принципиально новым и нашим нововведением, так как он неоднократно уже использовался в ряде публикаций геохимиков (Kosheleva et al, 2015; Onoshko & Elovicheva, 2013).

Дефиниция. В первом приближении педогеохимический барьер – это часть почвенного горизонта/профиля, где в результате формирования особых условий происходит накопление некоторых химических элементов.

Рассмотрение закономерностей поступления веществ в почву и их распределения по генетическим горизонтам позволяет обозначить основные контуры идеи почвенных геохимических барьеров (Savosko, 2000, 2001). Как известно, формирование химического состава почвы происходит на геохимическом базисе материнской породы под влиянием разновекторных миграционных потоков веществ, которые обуславливаются гидрогенными и фито/зоогенными феноменами. Зеленые растения в результате действия «фитопомпы», генерируя восходящий фитогенный поток, выносят на дневную поверхность почвы определенное количество химических элементов, в то время как созданный атмосферными осадками гидрогенный поток обуславливает нисходящую гравитационно-гидрогенную миграцию веществ и

элементов, которая усиливается за счет биогенных органических компонентов. В ряде случаев при близком залегании грунтовых вод встречается и восходящее капиллярно-водородное поступление химических элементов. Также необходимо отметить, что почвенный зоокомплекс за счет масштабной пертурбации почвенных масс создает зообиогенное распределение веществ. В общем, в почве имеются определенные закономерности содержания химических элементов в пределах профиля, что послужило основой для одной из его классификаций. При этом выделяют типы распределения веществ и химических элементов, для которых характерна аккумуляция/выщелачивание в строго определенной части почвы. По нашему мнению, эти закономерности распределения химических элементов в почвенном профиле можно также трактовать и как результат действия педогеохимических барьеров миграции.

Сущность педогеохимических барьеров заключается в следующем. Так, в понимании А. И. Перельмана (Perelman, 1989), действие геохимических барьеров является следствием «ситуационно-контрастного феномена»: на пути миграционного потока встречается участок с контрастно различающимися условиями миграции, что и обуславливает концентрирование химических элементов в пределах такого участка (рис. 1).

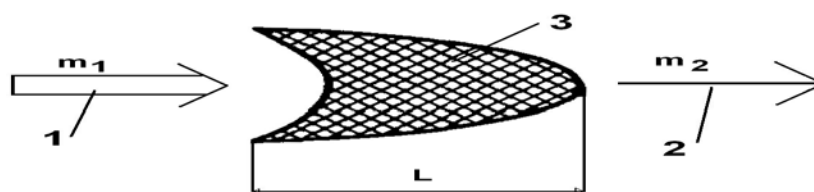


Рис. 1. Принцип действия и основные параметры геохимического барьера (Перельман, 1989)

Направления миграции химических элементов: 1 – до барьера, 2 – после барьера, 3 – область концентрирования элементов на барьере (рудные тела, аномалии и т.д.), геохимические характеристики среды: m_1 – до барьера, m_2 – после барьера, L – длина барьера.

По нашему мнению, действие педогеохимических барьеров является следствием «субстационарно-реакционного феномена»: т. е. химические элементы внутрипочвенных миграционных потоков, в результате взаимодействия с компонентами твердой фазы почвы, концентрируются на определенных участках почвенного профиля. Поясним эту мысль на примере содержания ТМ в почвах. Как известно, в почвах металлы присутствуют во всех ее фазах: твердой, жидкой, газообразной и живой (Savosko, 2003, 2009; Motuzova, 2009). Однако основу педогеохимии ТМ, как, впрочем, и всех остальных химических элементов почвы, формируют жидкая и твердая фазы почвы. При этом твердая фаза почвы – это своеобразная «педогеохимическая матрица», которая содержит основное количество химических элементов. Жидкую фазу почвы обычно рассматривают как «педогеохимическое поле», где максимально сосредоточены подвижные и реакционно-способные формы химических элементов. Взаимодействие же между твердой и жидкой почвенными фазами формирует динамическое равновесие педогеохимической системы. Поэтому компоненты твердой фазы почвы, а также реакции взаимодействия этих субстанций с ТМ жидкой фазы почвы и определяют принцип действия педогеохимических барьеров (рис. 2).

Завершая рассмотрение сущности идеи педогеохимических барьеров и их основных контуров, необходимо отметить следующее. Почвенный профиль представляет собой сложный комплекс педогеохимических барьеров. При этом одни из них могут быть локализованы в пределах нескольких почвенных горизонтов. Одновременно в одном почвенном горизонте возможно размещение нескольких таких барьеров. Поэтому в уточненном виде под педогеохимическим барьером следует понимать часть почвенного профиля, где в результате формирования особых

условий для субстационарно-реакционных взаимодействий происходит накопление определенных химических элементов.



Рис. 2. Принцип действия и основные компоненты педогеохимического барьера

Направления миграции ТМ: 1 – до барьера, 2 – после барьера;

3 – область концентрирования ТМ на барьере;

Ж.Ф.П. – жидкая фаза почвы, Т.Ф.П. – твердая фаза почвы.

ВЫВОДЫ

Разработанное А. И. Перельманом учение о геохимических барьерах нашло разнообразное и успешное применение в геохимии, геологии, литологии, минералогии и в других сопредельных науках. В настоящее время идеи этого учения очень важны для фундаментального понимания биогеохимических функций педосферы как теоретической основы сохранения биосферы и оздоровления почвы в условиях современного техногенеза. Поэтому так актуально внедрение концепции геохимических барьеров в почвоведение, постулируя при этом почву как уникальное природно-историческое тело, а почвенный профиль – как комплекс ее ведущих характеристик. В нашем понимании педогеохимический барьер – это часть почвенного профиля, где в результате формирования особых условий для субстационарно-реакционных взаимодействий происходит накопление определенных химических элементов.

В дальнейших исследованиях целесообразно рассмотреть механизмы действия, типологию, параметры педогеохимических барьеров, а также проанализировать эти параметры на примере ТМ в черноземах обыкновенных и южных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Alekseenko, V. A., 2000. *Ekologicheskaya geohimiya* [Ecological geochemistry]. Logos, Moscow (in Russian).
- Alekseenko, V. A., 2003. *Geohimicheskie bareryi* [Geochemical barriers]. Logos, Moscow (in Russian).
- Bradl, H. B., 2005. *Heavy metals in the environment*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Chertko, N. K., 2008. *Geohimiya* [Geochemistry]. Belorusskiy gosudarstvennyiy universitet, Minsk (in Russian).
- Dabahov, M. V., Dabahova, E. V., Titova, V. I., 2005. *Tyazhelye metally: ekotoksikologiya i problemyi normirovaniya* [Heavy metals: Ecotoxicology and normalization problems]. Izdatelstvo VVAGS, Nizhniy Novgorod (in Russian).

- Dobrovolskiy, G. V., Nykytyn, E. D., 2000. Sokhraneniye pochv kak nezamenymoho komponenta byosferu [Soil conservation as an indispensable component of the biosphere]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Gavrilova, I. P., Bogdanova, M. D., 2000. Prostranstvennaya differentsiatsiya radialnykh geohimicheskikh barerov v pochvakh Rossii [The spatial differentiation of radial geochemical barriers in the Russian soil]. Vestnik Moskovskogo universiteta seriya geografiya 1, 29–36 (in Russian).
- Gennadiyev, A. N., Kasimov, I. S., 2004. Lateralnaya migratsiya veshchestva v pochvakh i pochvenno-geohimicheskie kateny [Lateral migration of substances in soils and soil-geochemical catena]. Eurasian Soil Science 12, 1447–1461 (in Russian).
- Geohimicheskie barery v zone gipergineza, 2002 [Geochemical barriers in hypergenesis zone]. Ed. N. S. Kasimova, A. E. Vorobeva. Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, Moscow (in Russian).
- Glazovskaya, M. A., 1988. Geohimiya prirodnykh i tehnogennykh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR]. Vysshaya shkola, Moscow (in Russian).
- Holubets, M. A., 2008. Aktualni pytannia suchasnoho gruntoznavstva [Actual question of modern soil science]. Gruntoznavstvo 9 (1-2), 9–18 (in Ukraine).
- Hryshko, V. M., Syschchykov, D. V., Piskova, O. M., Danylchuk, O. V., Mashtaler, N. V., 2012. Vazhki metaly: nadkhodzhenia v grunty, translokatsiya u roslynakh ta ekolohichna nebezpeka [Heavy metals: input in soils, translocation in plants and environmental hazards]. Donbas, Donetsk (in Ukraine).
- Karpachevskiy, L. O., 2006. Razvitie idey v pochvovedenii [Development of ideas in Soil Science]. Gruntoznavstvo 7 (3-4), 5–14 (in Russian).
- Kasimov, N. S., Kastenkova, M. S., Gennadiyev, N. A., Lyichagin, M. Yu., 2012. Sovremennaya geohimicheskaya evolyutsiya lagunno-marshevyykh landshaftov Zapadnogo Prikaspiya [Modern geochemical evolution of the lagoon-marsh landscapes at Western Caspian]. Eurasian Soil Science 1, 9–20 (in Russian).
- Kharytonov, M. M., 2006. Buferna yemnist gruntu ta hirskykh porid shchodo zabrudnennia yikh vazhkymy metalamy [The buffer capacity of the soil and rocks by heavy metals pollution]. Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu 2(37), 201–203 (in Ukraine).
- Kosheleva, N. E., Kasimov, N. S., Vlasov, D. V., 2015. Faktoryi nakopleniya tyazhelykh metallov i metalloidov na geohimicheskikh barerakh v gorodskikh pochvakh [The factors of heavy metals and metalloids accumulation in the geochemical barriers at urban soils]. Eurasian Soil Science 5, 536–553 (in Russian).
- Kovaleva, G. V., Starozhilov, V. T., Derbentseva, A. M., Nazarkina, A. V., Mayorova, L. P., Matveenko, T. I., Semal, V. A., Morozova, G. Yu., 2012. Pochvyi i tehnogennyye poverhnostrye obrazovaniya v gorodskikh landshaftakh [Soils and technogenic surface formations in urban landscapes]. Dalnauka, Vladivostok (in Russian).
- Kovda, V. A., 1973. Osnovny ucheniya o pochvakh: obschaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo protsessa – kniga 1 [The principles of pedology: general theory of soil formation - first book]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Kozlovskiy, V. I., 2009. Vazhky metaliv v ekosystemakh tekhnogenno porushenykh terytorii Yavorivskoho rodovyshcha sirky (Peredkarpattia) [Heavy metals in technogenic ecosystems of damaged areas at Yavoriv sulfur deposit (Prekarpathians)]. Naukovi zapysky derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeiu 25, 99–110 (in Ukraine).
- Kuzmin, V. A., 2000. Geohimicheskie barery v pochvakh Pribaykalya [Geochemical barriers in the soils at Baikal region]. Eurasian Soil Science 10, 197–102 (in Russian).
- Maksimovich, N. G., Hayrulina, E. A., 2011. Geohimicheskie barery i ohrana okruzhayushey sredy [Geochemical barriers and environmental protection]. Perm'skiy gosudarstvennyy universitet, Perm (in Russian).
- Maximovich, N., Khayrulina, E., 2014. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region. Environmental Earth Science 72, 1915–1924.
- Motuzova, G. V., 2009. Soedineniya mikroelementov v pochvakh: sistemnaya organizatsiya, ekologicheskoe znachenie, monitoring [The compounds of trace elements in soils: system organization, ecological significance, monitoring]. Knizhnyy dom «Librokom», Moscow (in Russian).
- Onoshko, M. P., Elovicheva, Ya. K., 2013. Informativnost geohimicheskikh barerov pri paleorekonstruktsiyah [Informativity of geochemical barriers at paleoreconstruction]. Struktura i morfogenez pochvennogo pokrova v usloviyakh

- antropogennogo vozdeystviya. Belorusskiy gosudarstvenniy universitet, Minsk, 289-292 (in Russian).
- Perelman, A. I., 1961. Geohimiya landshafta [Landscape Geochemistry]. Gosudarstvennoe izdatelstvo geograficheskoy literatury, Moscow (in Russian).
- Perelman, A. I., 1972. Geohimiya elementov v zone gipergeneza [Geochemistry of elements in the hypergenesis zone]. Nedra, Moscow (in Russian).
- Perelman, A. I., 1989. Geohimiya [Geochemistry]. Vysshaya shkola, Moscow (in Russian).
- Polyinov, B. B., 1956. Izbrannyye trudy [Selected works]. Izdatelstvo AN SSSR, Moscow (in Russian).
- Saukov, A. A., 1950. Geohimiya [Geochemistry]. Izdatelstvo geologicheskoy literatury, Moscow (in Russian).
- Savosko, V. N., 2000. Ekologicheskaya rol geohimicheskikh barerov v raspredelenii aerotehnogennykh tyazhelykh metallov v pochvah Krivbassa [The ecological role of geochemical barriers for aerotechnogenic heavy metals distribution in soils at Kryvbas]. Pytannia bioindykatsii ta ekolohii 5(2), 145–153 (in Russian).
- Savosko, V. N., 2001. Ekologichna rol heokhimichnykh bareriv v rozpodili ta mihratsii vazhkykh metaliv v hruntakh terytorii, shcho mezhuut z zalizorudnyimi himycho-zbahachuvannyimi kombinatami: avtoreferat na zdobuttia naukovoho stupenia kandydata biologichnykh nauk [The ecological role of the geochemical barriers for heavy metals' distribution and migration in soil at territories which adjoin to iron mining-and-processing integrated works: abstract for the degree of Ph.D.]. Dnipropetrovskiy derzhavnyi universytet, Dnipropetrovsk (in Ukraine).
- Savosko, V. N., 2003. Gidrotehnogenne nakoplenie podvizhnykh form tyazhelykh metallov v pochvah Krivbassa [Hydrotechnogenic accumulation of heavy metals mobile forms in soils at Kkrivbas]. Gruntoznavstvo 4 (1-2), 105–109 (in Russian).
- Savosko, V. N., 2009. Lokalnoe fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov v pochvah Krivorozhskogo zhelezorudnogo regiona [The heavy metals local background contents in soils at Kryvyi Rih iron ore region]. Gruntoznavstvo 10 (3-4), 64–73 (in Russian).
- Savosko, V. N., 2016. Tyazheliye metallyi v pochvah Krivbassa [Heavy metals in soils at Kryvbas]. Dionat, Krivoy Rog (in Russian).
- Scheglov, D. I., Gorbunova, N. S., Semenova, L. A., Hatuntseva, O. A., 2013. Mikroelementy v pochvah sopryazhennykh landshaftov Kamennoy stepi razlichnoy stepeni gidromorfizma [Trace elements in soils conjugate landscape Stone steppe at different degrees hydromorphism]. Eurasian Soil Science 3, 282–290 (in Russian).
- Shoba, S. A., 2009. Gorizonty pochvovedeniya: itogi i perspektivy [Horizons of Soil Science: Results and Prospects]. Eurasian Soil Science 5, 515–520 (in Russian).
- Sparks, D. L., 2001. Elucidating the fundamental chemistry of soil: past and recent achievement and future frontiers. Geoderma 100, 303–319.
- Stepanova, L. P., Korenkova, E. A., 2010. Vliyaniye tehnogeneza na geohimiyu i ekologicheskuyu emkost landshafta [Impact of technogenesis on geochemistry and ecological capacity of landscape]. Izdatelstvo Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta, Orel (in Russian).
- Tolkovyy slovar po pochvovedeniyu, 1975. [Glossary of Soil Science]. Ex. ed. A. A. Rode. Nauka, Moscow (in Russian).
- Trifonova, T. A., Shirkin, L. A., Selivanova, N. V., 2007. Ekologo-geohimicheskyy analiz zagryazneniya landshaftov [Ecological and geochemical analysis of landscape pollution]. Vladimir Poligraf, Vladimir (in Russian).
- Vasilev, A. A., Chaschin, A. N., 2011. Tyazheliye metallyi v pochvah goroda Chusovogo: otsenka i diagnostika zagryazneniya [Heavy metals in the soils at Chusovoy city: assessment and diagnosis of pollution]. FGBOU VPO Permskaya GSHA, Perm (in Russian).
- Vernadskiy, V. I., 1969. Vybraniye pratsi [Selected works]. Naukova dumka, Kyiv (in Ukraine).
- Vodyanitskiy, Yu. N., 2010. Tendentsii razvitiya himii pochv [Development trends in soil chemistry]. Byulleten Pochvennogo instituta 66, 65–83 (in Russian).
- Vodyanitskiy, Yu. N., 2014a. Prirodnyye i tehnogennyye soedineniya tyazhelykh metallov v pochvah [Natural and man-made compounds of heavy metals in soils]. Eurasian Soil Science 4, 420–4732 (in Russian).
- Vodyanitskiy, N. Yu., 2014b. Iskusstvennyye pronitsaemye redoks-bareryi dlya ochistki pochvenno-gruntovykh vod (obzor literatury) [Artificial permeable redox barriers for clean soil and groundwater (review)]. Eurasian Soil Science 10, 1262–1272 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 23.03.2017