

Читать
онлайн
Read
onlineВоронина Л.П.^{1,2}, Поногайбо К.Э.¹, Савостикова О.Н.¹

Обоснование выбора типов почв для гигиенического нормирования химических веществ (обзор литературы)

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации, 119121, Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Россия

В обзорной статье обсуждается функционально-экологический подход, применяемый для обоснования выбора типов почв для модельных экспериментов в целях гигиенического нормирования химических веществ, который связан с анализом их основных, изменчивых функциональных характеристик, таких как гумусное состояние, гранулометрический состав, окислительная способность, сорбционная способность, ёмкость катионного обмена и т. д. Выбор типа почв может быть произведён с помощью данных по классам, выделенных по параметрам устойчивости функционирования почв. Такой подход позволит рационально подойти к выбору почв из всего их разнообразия. По степени устойчивости и освоённости предлагаются использовать контрастные варианты почв с учётом занимаемой ими площади. Функционально-экологический подход не предполагает выбора определённой характеристики почвы, а учитывает совокупную оценку всех свойств почвы по принципу их устойчивости. Кроме того, в России целесообразно создать сеть для гигиенического нормирования химических веществ и вести базу данных полученных результатов.

Основными базами данных для поиска литературы явились Scopus, Web of Science (WoS), Global Health, CyberLeninka, научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (РИНЦ). Поскольку данная тема затрагивает формирование подхода в методических рекомендациях по определению ПДК, в обзорную публикацию включили информацию по ГОСТам, учебной (Национальный атлас почв Российской Федерации, WRB – Мировая реферативная база почвенных ресурсов) и научной литературе.

Ключевые слова: обзор; ПДК в почве; функционально-экологический подход; устойчивость почвы

Для цитирования: Воронина Л.П., Поногайбо К.Э., Савостикова О.Н. Обоснование выбора типов почв для гигиенического нормирования химических веществ (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(3): 270–274. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-270-274>

Для корреспонденции: Воронина Людмила Петровна, доктор биол. наук, доцент, вед. науч. сотр. отд. физико-химических исследований и экотоксикологии ФГБУ «ЦСП» ФМБА России. E-mail: LVoronina@cspmpz.ru

Участие авторов: Воронина Л.П. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и редактирование текста; Поногайбо К.Э. – сбор и обработка материала, написание и редактирование текста; Савостикова О.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследования проводились в рамках государственного задания по теме «Оценка риска воздействия противогололёдных материалов на здоровье человека и объекты окружающей среды при их применении на урбанизированных территориях» в ФГБУ «ЦСП» ФМБА России.

Поступила: 20.10.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 08.04.2022

Liudmila P. Voronina^{1,2}, Ksenia E. Ponogaybo¹, Olga N. Savostikova¹

Reason of the choice of soil types for hygienic regulation of chemicals (literature review)

¹Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation;

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation

The article discusses a functional-ecological approach to the selection of soils for the purpose of hygienic regulation of chemicals. The functional-ecological approach used to substantiate the choice of soil types in standardization is associated with the analysis of their main, variable functional characteristics including humus state, particle size distribution, oxidizing capacity, sorption capacity, cation exchange capacity, etc. The choice of the type of soil can be made using the data on the classes, distinguished by the parameters of the stability of the functioning of the soils. The approach will allow making a rational choice of soils from all their diversity. According to the degree of stability and development, it is proposed to use contrasting options for soils, taking into account the area they occupy. The functional-ecological approach does not imply the choice of a specific soil characteristic, but takes into account the cumulative assessment of all soil properties according to the principle of their sustainability. In addition, it is advisable to create a network for hygienic rationing and maintain a database of the results obtained throughout the country.

The main databases for the literature search were Scopus, Web of Science (WoS), Global Health, CyberLeninka, scientific electronic library eLibrary.ru (RSCI). Since this topic affects the formation of an approach in the guidelines for determining the maximum permissible concentration, the review publication included information on National Russian standards, educational (national Atlas of soils of the Russian Federation, WRB - World Reference Base of Soil Resources) and scientific literature.

Keywords: review; MAC (maximum allowable concentration) in the soil; soil type; ecological and hygienic approach; soil stability

For citation: Voronina L.P., Ponogaybo K.E., Savostikova O.N. Reason of the choice of soil types for hygienic regulation of chemicals (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(3): 270–274. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-3-270-274> (In Russian)

For correspondence: Lyudmila P. Voronina, MD, PhD., DSci, Associate Professor, Researcher of the Department of Physical and Chemical Research and Ecotoxicology of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: luydmila.voronina@gmail.com; LVoronina@cspmpz.ru

Information about authors:

Voronina L.P., <https://orcid.org/0000-0003-1917-7490> Ponogaybo K.E., <https://orcid.org/0000-0002-0518-0982> Savostikova O.N., <https://orcid.org/0000-0002-7032-1366>

Contribution: Voronina L.P. – research concept and design, collection and processing of material, writing a text and editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Ponogaybo K.E. – collection and processing of material, writing a text and editing, approval of the final version of the article

article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Savostikova O.N. — research concept and design, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The research was carried out as part of a state assignment on the topic: “Risk assessment of the effects of anti-icing materials on human health and the environment when they are used in urban areas” at the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency of the Russian Federation.

Received: October 20, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: April 08, 2022

Почва является центральным звеном в биосфере, служит средой обитания живых организмов, обеспечивает преобразование и утилизацию отходов жизнедеятельности [1]. Во многих гигиенических исследованиях требуется учитывать экологические функции почвы как основу сохранения благоприятной среды существования человека, что является превентивной мерой развития экологически обусловленных заболеваний. Экологическая роль почв в биосфере незаменима и рассматривается как основополагающая, в том числе и для сохранения здоровья человека. Почва является протектором от возможного негативного воздействия химического, гельминтологического, микробиологического факторов среды, оказывающих влияние на человека через пищевые продукты, питьевую воду, атмосферный воздух.

Одной из главных функций почв является регулирование трансформации, миграции и микробной деградации загрязнений [2]. Почвенные условия влияют на поведение поллютантов, существенно изменяя уровень загрязнения ими окружающей среды. Циркуляция поллютантов и продуктов их деградации в природных средах зависит как от самой их характеристики, так и от аккумуляции и трансформации в почве, поступления в пищевые цепи, выноса за пределы почвенной толщи, попадания в горизонты грунтовых вод. В связи с этим большое значение в гигиеническом нормировании веществ в почве имеет функционально-экологический подход, предусматривающий анализ функционирования и изменчивости свойств поллютантов в зависимости от типа почв [3]. Этот подход, реализованный в Национальном атласе почв Российской Федерации (2011), следует применять при выборе контрастных типов почв в нормировании, и он должен быть связан с анализом их основных изменчивых функциональных характеристик, таких как гумусное состояние, окислительная способность, сорбционная способность, ёмкость катионного обмена и т. д. Именно такой подход может лежать и в основе гигиенического нормирования.

В п. 1.3 и п. 1.3.1 «Методических рекомендаций по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве» (1982) сформулирована необходимость использования определённых типов почв для лабораторных и натуральных исследований в работе по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве*. Ниже приведены положения «Методических рекомендаций...» в части обоснования выбора типов почв, которые могут быть рекомендованы для экспериментальных исследований при обосновании ПДК:

- «1.3. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве устанавливаются экспериментально в лабораторных опытах. При необходимости опыты проводятся также в натуральных (полевых) условиях с использованием данных агрохимического паспорта почвы, отражающего её основные параметры (тип и подтип почвы, механический состав, рН, содержание гумуса, ёмкость поглощения, влажность).
- 1.3.1. Лабораторные исследования проводятся на естественном типе почвы, преобладающей в данной местности (крае, области, республике), наиболее лёгкого механического состава (песчаные, супесчаные) с содержанием гумуса не выше 2%, определённым значением рН».

* Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. Утверждены 5 августа 1982 г., № 2609-82.

Опыты, которые проводятся в натуральных (полевых) условиях, должны быть приурочены к естественному типу почвы, преобладающему в данной местности. Специфика поведения поллютанта, проявляющаяся в этом случае, обусловлена расположением почв в определённых природно-климатических зонах и совокупностью свойств всех почвенных горизонтов [4].

В формировании локальных зон загрязнения отдельными поллютантами особую роль играют геохимические барьеры, то есть «короткие» расстояния, в которых резко меняются условия миграции, приводящие к концентрированию химических элементов или их соединений [5]. В данном случае необходимо учитывать особенности ландшафта и формированию загрязнителей в почвах агроландшафта реперными почвами могут выступать не только целинные эталонные почвы, но и почвы земледелия с разной культурой земледелия [6]. Таким образом, геохимическая локация усложняет процесс обоснования ПДК поллютантов, что приводит к необходимости индивидуального подхода к их оценке в натуральных условиях.

Основным этапом изучения поведения химических веществ в почве являются лабораторные исследования, включающие изучение их миграции, трансформации и поступления в растения. Для лабораторных исследований требуется обоснование выбора естественного типа почвы с учётом того, что при гигиеническом нормировании преимущественно отбирается максимально контактирующий с человеком верхний слой почвы, на котором в дальнейшем проводятся все предусмотренные методическими рекомендациями эксперименты. Однако в данном случае поведение поллютантов целесообразно рассматривать и с позиций экологических функций почв, благодаря которым могут утилизироваться отходы и ксенобиотика, а продукты распада переводятся в доступные для живых организмов формы. Использование поверхностного горизонта объясняется прежде всего тем, что именно он «принимает удар» при различных антропогенных воздействиях и выполняет барьерные функции. Биогеохимические барьеры верхнего горизонта почв способствуют аккумуляции многих опасных загрязнителей, тем самым предохраняя нижележащие горизонты [7, 8]. Кроме того, верхние горизонты являются корнеобитаемыми, в связи с чем избыток загрязняющих веществ через растительную продукцию может поступать в организм человека. Наряду с функцией геохимического барьера поверхностный горизонт выполняет роль стартера, так как может способствовать увеличению подвижности элементов, тем самым вовлекая их в биологический круговорот [9]. Таким образом, при нормировании представляется важным анализ поведения поллютантов в естественных почвах, обладающих контрастными защитными характеристиками.

Для обоснования типов почв в данной статье используются демонстрационные карты и сведения, приведённые в Национальном атласе почв Российской Федерации [3].

Средние величины запасов органического углерода (Сорг) в почвах России находятся в пределах от 5,8 до 800 т/га [10]. На карте выделено 12 градаций, и каждая

Таблица 1 / Table 1

Параметры, используемые для оценки устойчивости функционирования почв
Parameters used to assess the stability of soil functioning

Параметр Parameters	Баллы / Scores				
	1	2	3	4	5
	Ландшафт / Landscape				
	аккумулятивный / accumulative		транзитный / transit		элювиальный / eluvial
Мощность горизонтов O + AO, см Depth of O + AO horizons, cm	< 5	5–10	10–20	20–40	> 40
Мощность горизонта A, см Depth of a horizon, cm	< 5	5–10	10–20	20–40	> 40
pH _{водный} / pH _{H₂O}	< 4,7	4.7–5.7	5.8–6.5	6.6–7.5	> 7.5
ЕКО в гумусовом горизонте, ммоль (экв)/100 г почвы Cation exchange capacity (CEC) in humus horizon, mmol (eq)/100 g soil	< 10	10–20	20–30	30–40	> 40
Содержание гумуса в слое 0–20 см, % Humus content in the 0–20 cm layer, %	< 2	2–4	4–6	6–10	> 10
Гранулометрический состав Particle-size distribution	Песок, супесь, щебнистые отложения Sand, sandy loam, rubble deposits		Лёгкий и средний суглинок Sandy to silty loam		Тяжёлый суглинок и глина Clay loam and clay

Примечание. *Аккумулятивный ландшафт* – элементарный ландшафт, сформированный в отрицательных формах рельефа. Характеризуется преобладанием процесса накопления веществ. *Транзитный ландшафт* – элементарный ландшафт, занимающий промежуточное положение между элювиальным и аккумулятивным ландшафтами. *Элювиальный ландшафт* – автономный элемент ландшафта, сформированный на повышенных элементах рельефа при глубоком залегании грунтовых вод. Характеризуется поступлением веществ преимущественно из атмосферы. Национальный атлас почв Российской Федерации (2011).

Note. *An accumulative landscape* is an elementary landscape formed in negative landforms. It is characterized by the predominance of the process of accumulation of substances. *A transit landscape* is an elementary landscape that occupies an intermediate position between eluvial and accumulative landscapes. *Eluvial landscape* is an autonomous elementary landscape formed on elevated relief elements with deep groundwater. It is characterized by the intake of substances mainly from the atmosphere. National Soil Atlas of the Russian Federation (2011).

градация объединяет разные типы и подтипы почв, близкие по уровням запасов органического углерода. Зональное распределение запасов прослеживается на равнинных территориях, занятых автоморфными почвами: от низкого в почвах таёжной зоны (подзолистые, дерново-подзолистые, палевые) до высокого в чернозёмных почвах степной зоны. Использование данной характеристики почв представляется обязательным в нормировании в связи с её высокой экологической значимостью в оценке устойчивости почв и воздействия на накопление и трансформацию поллютантов [11, 12].

Показатель окислительно-восстановительной (ОВ) способности различных типов почв на территории России находится в пределах 0,03–1,18. На карте использовано 6 градаций. В наибольшей степени на территории страны распространены почвы с повышенной интенсивностью биологического круговорота (0,1–0,2). Это дерново-подзолистые, подзолы, аллювиальные, серые лесные и др., составляющие почти 40% всех почв Российской Федерации. ОВ-режимы наиболее динамичны в верхних горизонтах, что связано с активной микробиологической деятельностью. Снижение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП, *Eh*) отмечается при повышенных температурах (20–30 °C) и оптимальной влажности. Снижение *Eh* до 0,25 В обуславливает накопление восстановленных соединений железа, марганца, ртути в количествах, токсичных для растений, и таких веществ, как сероводород, фосфин, этилен, сода, которые могут накапливаться и угнетающе воздействовать на растения [13].

Величина сорбционной способности, основным показателем которой является ёмкость катионного обмена (ЕКО), в первую очередь зависит от состава и свойств твёрдой фазы почв [14]. Максимальные значения ЕКО характерны для болотных почв (до 100 ммоль(экв)/100 г) и минеральных почв травянистых экосистем с высоким содержанием органического вещества: чернозёмов и дерново-карбонатных (до 75 ммоль(экв)/100 г). Низкая сорбционная способность

характерна для дерново-подзолистых и аллювиальных почв. Наименьшая – для почв малогумусных, лёгкого гранулометрического состава (до 5–10 ммоль(экв)/100 г). Оценка сорбционных функций почв на территории России имеет шесть градаций. На почвы с низкими и очень низкими сорбционными функциями приходится более 60% площади почвенного покрова страны.

Учитывая, что градации по каждому из этих показателей имеют разное число позиций, например, существует 12 градаций по содержанию гумуса в почве, по 6 градациям на почвенной карте оценивается окислительная способность и т. д., следует прибегнуть к интегральному показателю – определению показателя буферности почв или почвенной устойчивости. Устойчивость – это способность возвращаться после возмущения в исходное состояние и сохранять производительную функцию [15]. На степень устойчивости почв к различным видам антропогенных воздействий в наибольшей степени влияет комплекс таких показателей, как положение почвы в ландшафте, мощность органогенного и гумусово-аккумулятивного горизонтов, кислотность почвы, ёмкость катионного обмена, содержание гумуса, гранулометрический состав. Комплекс этих параметров используется для оценки суммарной устойчивости почв. В почвенном атласе представлена карта, легенда к которой построена на совокупности значений по ряду параметров, используемых для оценки устойчивости почв [16, 17]. Абсолютные показатели были переведены в условные баллы для получения суммарной оценки устойчивости, представленные в табл. 1 [8, 17].

Представляется важным, что при использовании функционально-экологического подхода (см. табл. 1) для обоснования выбора типов почв с целью гигиенического нормирования в перечень параметров, которые необходимо учитывать, входит гранулометрический состав. Данный признак является азональным, поэтому почвы, характеризующиеся общностью гранулометрического состава, связанного с распределением по профилю илистого вещества, которое

коррелирует с химическим составом, могут относиться к разным типам. Гранулометрический состав играет важную роль при изучении миграционных особенностей поллютантов для гигиенического нормирования, что предполагает использование контрастных вариантов почв по данному признаку, особенно для легкоподвижных веществ [18].

Полученная оценка устойчивости функционирования почв на территории России с учётом материалов, представленных в табл. 1, находится в пределах от 11 до 29 баллов. При разработке легенды к карте по интегральной балльной оценке выделено 5 классов по степени устойчивости и составлена таблица с расчётами площади, занимаемой каждым классом (табл. 2).

Поскольку подход, предусматривающий выделение основных типов почв для целей гигиенического нормирования в них ПДК химических элементов, в настоящее время только отрабатывается, считаем целесообразным привести характеристики по всем классам почв, указанных в табл. 2.

В табл. 3 представлена информация о соответствии основных типов почвы степени устойчивости и указана площадь (%) от почвенного покрова России (по данным Национального атласа почв Российской Федерации, 2011). При гигиеническом нормировании исследователи могут выбрать другой тип почвы, характерный для данной территории и соответствующий определённой степени устойчивости, с учётом распространения нормируемого поллютанта.

Для целей гигиенического нормирования предлагается использовать контрастные варианты, то есть I, III, V классы, однако нельзя не учитывать и площадный принцип. В данном случае с учётом площадного принципа целесообразно тип почвы из группы с низкой устойчивостью (S = 14%) заменить типом почв из II группы с устойчивостью ниже средней (S = 51,4%). На 65% территории России развиты почвы с низкой и пониженной устойчивостью функционирования. Из данной градации по низкой устойчивости почв и степени их освоённости могут быть использованы дерново-подзолистые почвы (Umbric Albeluvisols Abruptic) [19], а для регионов, где преобладают другие типы (например, Западная Сибирь), могут быть использованы бурозёмы.

Таблица 2 / Table 2

Характеристика классов устойчивости функционирования почв по занимаемой площади

Characteristics of the stability classes of the functioning of soils on the occupied area

Класс Class	Сумма баллов Total score	Степень устойчивости Degree of stability	Площадь, % от почвенного покрова России Area, % of the soil cover of Russia
I	< 15	Низкая / Low	14.0
II	15–18	Ниже средней / Below medium	51.4
III	19–22	Средняя / Medium	14.5
IV	23–26	Выше средней / Above medium	12.3
V	> 26	Высокая High	7.8

Почвы, представленные устойчивостью выше средней и высокой, с хорошо выраженным гумусово-аккумулятивным горизонтом, нейтральной реакцией, высокой ёмкостью поглощения и тяжёлым гранулометрическим составом, могут быть объединены. Для гигиенических целей могут быть использованы прежде всего чернозёмы (Chernozems) [19], например, подтип лугово-чернозёмовидных почв, относящийся к IV группе, или чернозёмы типичные, выщелоченные и другие подтипы почв, относящиеся к V группе.

Из III класса, характеризующегося *средней* устойчивостью, для гигиенических исследований могут быть рекомендованы серые лесные или каштановые почвы с учётом требований разработчиков к оценке поллютантов.

Таким образом, функционально-экологический подход не предполагает выбора определённой характеристики почвы, а учитывает совокупную оценку всех свойств почвы по принципу их устойчивости. Кроме того, в России целесообразно создать сеть для гигиенического нормирования химических веществ и вести базу данных полученных результатов.

Таблица 3 / Table 3

Соответствие типов почвы степени устойчивости

Correspondence of soil types to the degree of resistance

Степень устойчивости Degree of stability	Типы почв Soil types	Площадь, % от почвенного покрова России Area, % of the soil cover of Russia
Низкая Low	Арктические и глееподзолистые почвы, подзолы и дерново-подзолы, горные примитивные и ряд других почв с кислой реакцией среды, низкой ёмкостью поглощения и малой мощностью органогенных и гумусово-аккумулятивных горизонтов Cryosols, regosols, podzols with various, properties and materials and other soils with an acidic reaction of the medium, low absorption capacity and low depth of organogenic and humus-accumulative horizons	14.0
Ниже средней Below medium	Арктотундровые, подбуры тундровые, подзолистые и подзолисто- и торфяно-подзолисто-глеевые, буро-таёжные, палевые и дерново-подзолистые, бурозёмы, торфяные болотные верховые и др. Leptosols, podzols, gleysols with various diagnostic horizons, properties and materials	51.4
Средняя Medium	Тундровые глеевые и тундрово-болотные почвы, дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом, дерново-карбонатные и дерново-глеевые, подбелы, серые лесные почвы, солончаки, солонцы, бурые пустынно-степные, некоторые каштановые почвы и др. Albeluvisols, phaeozems, gleysols, solonchaks, solonetz, cambisols, calcisols with various, properties and materials	14.5
Выше средней Above medium	Перегноино-карбонатные почвы, каштановые, некоторые подтипы чернозёмов (мицеллярно-карбонатные), лугово-чернозёмовидные, торфяные болотные переходные и низинные, многие крио- и гидроморфные комплексы и ряд других почв с хорошо выраженным гумусово-аккумулятивным горизонтом, нейтральной реакцией, высокой ёмкостью поглощения и тяжёлым гранулометрическим составом Kastanozems, histosols, phaeozems, cambisols, planosols and other soils with a well-defined humus-accumulative horizon, neutral reaction, cation exchange capacity and heavy particle size distribution	12.3
Высокая High	Чернозёмы, лугово-чернозёмные и луговые почвы. Чернозёмы выщелоченные высокогумусные тяжелосуглинистого гранулометрического состава и чернозёмы типичные, лугово-чернозёмные почвы, в том числе солонцеватые и солончаковатые Chernozems with various diagnostic horizons, properties and materials	7.8

Литература

(п.п. 2, 4, 12 см. References)

1. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. *Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. Функционально-экологический подход*. М.: МАИК Наука; 2000.
3. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель-АСТ; 2011. Available at: <https://soil-db.ru/soilatlas>
5. Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение. *Вестник Московского университета. 5. География*. 2012; (1): 8–14.
6. Добровольский Г.В., Чернова О.В., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г. Принципы выбора эталонных объектов при создании Красной книги почв России. *Почвоведение*. 2006; (4): 387–95.
7. Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Онтиков П.В., Щепашенко Д.Г., Баранenkova A.A. Почвенные факторы устойчивости ельников. *Лесной вестник*. 2016; 20(5): 147–53.
8. Герасимова М.И., Богданова М.Д. Мелкомасштабные карты геохимических барьеров. *География и природные ресурсы*. 2013; (3): 9–17.
9. Лобачева Г.К., Желтобрюхов В.Ф., Колодницкая Н.В., Осипов В.М., Карпов А.В., Макаров О.А. и др. Природные геохимические барьеры – факторы предотвращения химического загрязнения подземных вод. *Вода: химия и экология*. 2012; (11): 3–9.
10. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. *Органическое вещество почв Российской Федерации*. М.: Наука; 1996.
11. Панкова Т.И., Масютенко Н.П., Колтышева Е.В. Алгоритм оценки устойчивости органического вещества почвы и нормирования антропогенной нагрузки по устойчивости органического вещества. В кн.: *Достижения молодых ученых в развитии сельскохозяйственной науки и АПК: Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции молодых ученых*. Солоное Займище; 2018: 243–7.
13. Савич В.И., Гукалов В.В., Поляков А.М. Окислительно-восстановительное состояние почв, как критерий их плодородия. *Плодородие*. 2017; (6): 22–5.
14. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. *Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен*. М.; 2009.
15. Букс И.И. Некоторые методические подходы к оценке устойчивости природных комплексов для целей прогноза состояния окружающей среды. *Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды*. 1987; (5): 200–12.
16. Богданова М.Д., Герасимова М.И. Почвенные карты в новом экологическом атласе России. *Почвоведение*. 2019; (1): 1454–70. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120025>
17. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География*. 2014; (4): 114–30.
18. Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. *Глинистые минералы в почвах*. М.: Гриф и К; 2005.
19. WRB. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Исправленная и дополненная версия 2015. Международная система почвенная классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Доклады о мировых почвенных ресурсах. 106. ФАО. Рим; 2015.

References

1. Dobrovolskiy G.V., Nikitin E.D. *Soil conservation as an indispensable component of the biosphere. Functional-ecological approach [Sokhraneniye pochv kak nezamenimogo komponenta biosfery. Funktsional'no-ekologicheskii podkhod]*. Moscow: MAIK Nauka; 2000. (in Russian)
2. Bloem J., Hopkins D.W., Benedetti A., eds. *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. Bellingham, WA: CAB Publishing; 2006.
3. National Atlas of soils of the Russian Federation. Moscow: Astrel-AST; 2011. Available at: <https://soil-db.ru/soilatlas> (in Russian)
4. Krasnoyarskaya B.A., Orlova I.V., Plutalova T.G., Sharabarinina S.N. Landscape-Ecological assessment of dry lands of the Russian-Kazakhstan border zone for sustainable land use. *Arid. Ecosystems*. 2019; 9(3): 150–6. <https://doi.org/10.1134/S2079096119030065>
5. Glazovskaya M.A. Geochemical barriers in plain soils, their typology, functional characteristics and environmental importance. *Vestnik Moskovskogo universiteta. 5. Geografiya*. 2012; (1): 8–14. (in Russian)
6. Dobrovolskiy G.V., Chernova O.V., Semenyuk O.V., Bogatyrev L.G. Principles of selecting reference soils for the red data book of Russian soils. *Pochvovedenie*. 2006; (4): 387–95. (in Russian)
7. Martynenko O.V., Karminov V.N., Ontikov P.V., Shepashchenko D.G., Baranenkova A.A. Soil stability factors of spruce forests. *Lesnoy vestnik*. 2016; 20(5): 147–53. (in Russian)
8. Gerasimova M.I., Bogdanova M.D. Small-scale maps of geochemical barriers. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2013; (3): 9–17. (in Russian)
9. Lobacheva G.K., Zheltobryukhov V.F., Kolodnitskaya N.V., Osipov V.M., Karpov A.V., Makarov O.A., et al. Natural geochemical barriers as factors preventing chemical pollution in ground water. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2012; (11): 3–9. (in Russian)
10. Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I. *Organic Matter of Soils of the Russian Federation [Organicheskoe veshchestvo pochv Rossiyskoy Federatsii]*. Moscow: Nauka; 1996. (in Russian)
11. Pankova T.I., Masyutenko N.P., Koltysheva E.V. Algorithm for assessing the stability of soil organic matter and normalizing anthropogenic load on the stability of organic matter. In: *Achievements of Young Scientists in the Development of Agricultural Science and Agriculture: Collection of Materials of the VII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists [Dostizheniya molodykh uchenykh v razvitiye sel'skhozaystvennoy nauki i APK: Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh]*. Solonoe Zaymishche; 2018: 243–7. (in Russian)
12. Kwiatkowska-Malina J. Functions of organic matter in polluted soils: The effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Appl. Soil Ecol*. 2018; 123: 542–5. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.021>
13. Savich V.I., Gukalov V.V., Polyakov A.M. Redox status of soils as a criterion of their fertility. *Plodorodie*. 2017; (6): 22–5. (in Russian)
14. Sokolova T.A., Trofimov S.Ya. *Sorption properties of soils. Adsorption. Cation exchange [Sorbtionnyye svoystva pochv. Adsorbtsiya. Kationnyy obmen]*. Moscow; 2009. (in Russian)
15. Bux I.I. Some methodological approaches to assessing the sustainability of natural complexes for the purposes of forecasting the state of the environment. *Problemy fonovogo monitoringa sostoyaniya prirodnoy sredy*. 1987; (5): 200–12. (in Russian)
16. Bogdanova M.D., Gerasimova M.I. Soil maps in the new ecological atlas of Russia. *Pochvovedenie*. 2019; (1): 1454–70. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120025> (in Russian)
17. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. Approaches to assessment and gis mapping of sustainability and environmental well-being of geosystems. III. Integrated assessment of the sustainability of soil and terrestrial geosystems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*. 2014; (4): 114–30. (in Russian)
18. Sokolova T.A., Dronova T.Ya., Tolpeshka I.I. *Clay Minerals in Soils [Glinistye mineraly v pochvakh]*. Moscow: Grif i K; 2005. (in Russian)
19. WRB. World abstract base of Soil Resources 2014. Corrected and expanded version 2015. International Soil Classification system for soil diagnostics and creation of legends of soil maps. Reports on world soil resources. 106. FAO. Rome; 2015. (in Russian)