

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ/ENGINEERING GEOLOGY,  
PERMAFROST AND SOIL SCIENCE**

**DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85>**

**НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИЯХ, СЛОЖЕННЫХ  
ДИСПЕРСНЫМИ СВЯЗНЫМИ ПОРОДАМИ**

Научная статья

**Хансиварова Н.М.<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0003-4494-7493;

<sup>1</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (n.khansivarova[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Оценка защищенности подземных вод от загрязнения остается одной из важных задач в широком спектре экологических проблем и является обязательной при строительном освоении территорий. Основным недостатком всех существующих отечественных и зарубежных методик является то, что они не рассматривают сорбционные способности дисперсных связных пород и их функционирование в качестве литохимических барьеров. Автор предлагает новый подход, позволяющий учитывать физико-химические свойства дисперсных пород, которые обеспечивают их защитные возможности. Методика основана на результатах выполненного ранее лабораторного моделирования взаимодействия дисперсных пород с опытными электролитами, содержащими водные растворы неорганических солей некоторых металлов. Предлагается сорбционную активность литологических разновидностей оценивать коэффициентом интенсивности сорбции  $K_s$ , по которому породы разделяются на низко-, средне- и высокоинтенсивные. Защищенности подземных вод зависят от наличия в зоне аэрации литохимических барьеров различного адсорбционного потенциала и их сочетания. Автор вводит понятие «индекс защищенности», который позволяет провести анализ пространственной изменчивости интенсивности и мощности литохимических барьеров. Предлагаемый подход рассмотрен на примере экокомплекса по обращению с отходами производства и потребления «ПБТО Кировский», расположенного на юго-западе Ростовской области.

**Ключевые слова:** дисперсные породы, глинистые минералы, сорбционная емкость, литохимические барьеры, коэффициент интенсивности сорбции.

**A NEW APPROACH TO ASSESSING THE PROTECTION OF GROUNDWATER IN AREAS COMPRISING  
DISPERSIVE COHERENT ROCKS**

Research article

**Khansivarova N.M.<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0003-4494-7493;

<sup>1</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

\* Corresponding author (n.khansivarova[at]yandex.ru)

**Abstract**

Assessing the protection of groundwater from pollution remains one of the important tasks in a wide range of environmental issues and is mandatory in the construction development of territories. The main drawback of all existing domestic and foreign methods is that they do not take into account the sorption capacities of dispersive coherent rocks and their functioning as lithochemical barriers. The author suggests a new approach that takes into account the physical and chemical properties of dispersive rocks that give them their protective capabilities. The method is based on the results of previous laboratory modelling of the interaction of dispersive rocks with experimental electrolytes containing aqueous solutions of inorganic salts of certain metals. It is proposed to evaluate the sorption activity of lithological varieties using the sorption intensity coefficient  $K_s$ , according to which rocks are divided into low-, medium- and high-intensity types. The protection of groundwater depends on the presence of lithochemical barriers with different adsorption potentials and their combination in the aeration zone. The author introduces the concept of a "protection index", which allows for analysis of the spatial variability of the intensity and thickness of lithochemical barriers. The suggested approach is examined on the example of the "MRSB Kirovsky" industrial and consumer waste management eco-complex, located in the south-west of Rostov Oblast.

**Keywords:** dispersive rocks, clay minerals, sorption capacity, lithochemical barriers, sorption intensity coefficient.

**Введение**

Жизнь на Земле невозможна без важнейших витальных ресурсов, одним из которых является вода. С древних времен для нужд питьевого водоснабжения использовались подземные воды. Они остаются мощным и незаменимым источником питьевой воды по настоящее время. В эпоху техногенеза их сохранение и защита становятся задачами планетарного масштаба, а решение этих задач тесно связано с оценкой защищенности подземных вод от загрязнения. Она подразумевает перекрытость водоносного горизонта слабопроницаемыми отложениями, создающими препятствие для поступления химических веществ с поверхности земли в подземные воды [1]. В практике зарубежной гидрогеологии и геэкологии используется противоположный по смыслу термин — «уязвимость», а для ее измерения существует много теоретических обоснований и методик. Их подробный анализ приведен нами в предыдущих

публикациях [2]. В России принята и законодательно утверждена методика М. Гольдберга, нашедшая широкое применение при выполнении инженерно-экологических изысканий для строительства и устранения широкого спектра экологических проблем. Отдавая должное всем авторам, следует отметить, что ни один из подходов к оценке уязвимости или защищенности подземных вод от загрязнения не учитывает сорбционных способностей горных пород зоны аэрации. Однако известно, что некоторые литологические типы глинистых пород могут обладать достаточно высокой сорбционной емкостью и рассматриваться в качестве природных геохимических барьеров. Одной из поставленных нами задач, обозначен поиска возможности учета сорбционных свойств дисперсных пород и применение показателей их физико-химической активности для оценки защищенности подземных вод от загрязнения.

Цель настоящего сообщения — представить разработанный автором подход к оценке защищенности подземных вод, позволяющий включить параметры поглощающей способности дисперсных пород в список значимых факторов. Апробации методики рассмотрена на примере полигона ПБТО «Кировский», расположенного на юго-западе Ростовской области. Объектом исследования являются дисперсные связные породы предкавказской части Скифской плиты Русской платформы [3].

### Методы и принципы исследования

Аналитический метод: анализ теоретических положений грунтоведения и геохимии [4], [5]; лабораторное моделирование; химические, спектральные эмиссионный и атомно-адсорбционный методы применялись для определения содержания катионов в образцах литологических разновидностей и водных фильтратах до и после инфильтрации опытных растворов; методы статистической обработки данных.

### Основные результаты и обсуждения

Защитная функция литохимических барьеров обусловлена физико-химической адсорбцией, которая является одним из механизмов компенсации отрицательного заряда на поверхности твердой фазы. Согласно современным представлениям, данный заряд возникает вследствие гетеровалентных изоморфных замещений в структурных элементах глинистых минералов, что приводит к возникновению двойного электрического слоя — ДЭС [4]. Известно, что глинистые минералы составляют 80% высокодисперсных фракций суглинков и глин четвертичного и неогенового возраста, залегающих на обширных территориях Европейской части юга России [6], [7]. В наших предыдущих публикациях приведено подробное изложение теоретических аспектов формирования ДЭС в изучаемых породах и факторов, определяющих его строение. Кроме того, представлена информация о целях, задачах, результатах, методики выполнения лабораторного моделирования взаимодействия дисперсных связных пород с опытными электролитами, содержащими водные растворы неорганических солей некоторых металлов [8], [9]. В настоящем сообщении, мы ограничиваемся данными, которые необходимы для освещения, предлагаемого подхода.

Для постановки задач лабораторного моделирования, были проанализированы результаты выполненных ранее работ, посвященных изучению геохимического, минералогического составов и адсорбционных свойств дисперсных пород юга России. Их минералогические особенности детально расшифрованы И.А. Шамраем (1955), Л.Г. Балаевым, П.В. Царевым (1964), В.П. Ананьевым и В.И. Коробкиным (1985). Среди современных авторов, следует отметить сообщения К.М. Седаевой (2017). Статьи С.С. Морозова (1953), А.К. Ларионова (1971) приводят данные о валовом содержании химических элементов. Сведения об обменных катионах и емкости поглощения весьма ограничены. Наиболее серьезное изучение обменного комплекса было выполнено В.П. Ананьевым и В.И. Коробкиным [6]. Выявление сорбционной способности дисперсных пород юга России проводилось только для целей технической мелиорации грунтов с применением раствора силиката натрия, битумов, смол [10]. Известно, что получение данных о минералогических и физико-химических свойствах пород требует применения трудоемких методов, сложного оборудования и значительных финансовых затрат. В соответствие с техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, оценка защищенности подземных вод является обязательной при строительном освоении территорий. Однако перечисленные выше исследования невозможно провести в составе инженерно-экологических изысканий для отдельных площадок проектируемого строительства. Поэтому, разработанная нами методика может быть применена для более точной оценки защищенности подземных вод, без дополнительных полевых и лабораторных работ, опираясь только на данные, полученные при инженерно-экологических изысканиях.

В связи с вышеизложенным, нами при оценке защищенности подземных вод, предлагается использовать результаты лабораторного моделирования взаимодействия дисперсных грунтовых толщ с промышленными стоками, содержащими некоторые химические элементы различных классов опасности. Эксперимент проводился по известной классической схеме К.К. Гедрица. В качестве адсорбента использовались наиболее распространенные на территории юга России литологические разновидности. Их краткая характеристика приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Литологическое описание и классификационная характеристика дисперсных пород (адсорбентов)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85.1>

Литологическое описание	Классификационные характеристики ГОСТ 25100-2020 [11]
Почва Рd <sub>IV</sub> , современная почва, чернозем, суглинки, глины с содержанием органического вещества 7–9%	-
dQ <sub>IIIos</sub> — суглинки останковского горизонта — желто-бурые, серовато-желтые, палево-желтые, лессовидные, макропористые, с	Суглинки легкие пылеватые, твердые, просадочные, ненабухающие, незасоленные, без примеси органического вещества

Литологическое описание	Классификационные характеристики ГОСТ 25100-2020 [11]
включением карбонатов, легкие, просадочные	
eQ <sub>шмл</sub> молого-шекснинский погребенный почвенный горизонт — суглинки темно-бурые, почва ярко выраженного черноземного типа	Суглинки тяжелые пылеватые твердые, просадочные, ненабухающие, незасоленные, с примесью органического вещества
dQ <sub>шк1</sub> суглинки калининского горизонта — желто-бурые, светло-желто-бурые, лессовидные, макропристые, с включением карбонатов («белоглазка»), дутиков, рыхлых известковистых скоплений,	Суглинки средние пылеватые твердые — полутвердые просадочные и непросадочные, ненабухающие, незасоленные, без примеси органического вещества
eQ <sub>шмк</sub> — микулинский погребенный почвенный горизонт имеет сложное строение, представлен суглинками тяжелыми, вверху коричневыми, ниже — черными (черноземный тип), а в подошве снова коричневыми	Погребенный почвенный горизонт — суглинки тяжелые пылеватые, твердые-полутвердые, непросадочные, ненабухающие, незасоленные, с примесью органического вещества
dQ <sub>шмс</sub> — суглинки и глины московского горизонта — красновато-бурые, лессовидные, слабомакропристые, с включениями мелкокристаллического гипса и отдельных крупных друз, известковых и карбонатных конкреций, которые местами имеют следы вторичной переработки	Суглинки тяжелые или глины легкие пылеватые, разной консистенции, непросадочные, ненабухающие, незасоленные, без примеси органического вещества
N <sub>ш</sub> — Скифские глины красно-бурые, местами серые, неслоистые, монолитного сложения, осколочной текстуры, плотные	Глины легкие пылеватые, твердые, непросадочные, слабонабухающие, незасоленные, без примеси органического вещества

Адсорбат, имитирующий промышленные сточные воды представлял собой электролит, не имеющий общих ионов с ДЭС, в него входили водные растворы солей хрома, никеля, меди и цинка и др. элементов. Установлено, что в породах протекает ионная положительная, локализованная физико-химическая адсорбция, характер которой описывается изотермой Ленгмюра (рис. 1). Дисперсные породы проявляют себя как катиониты. Лабораторное моделирование было выполнено на примере 3-х наиболее типичных для региона геолого-литологических разрезах [8], [9].

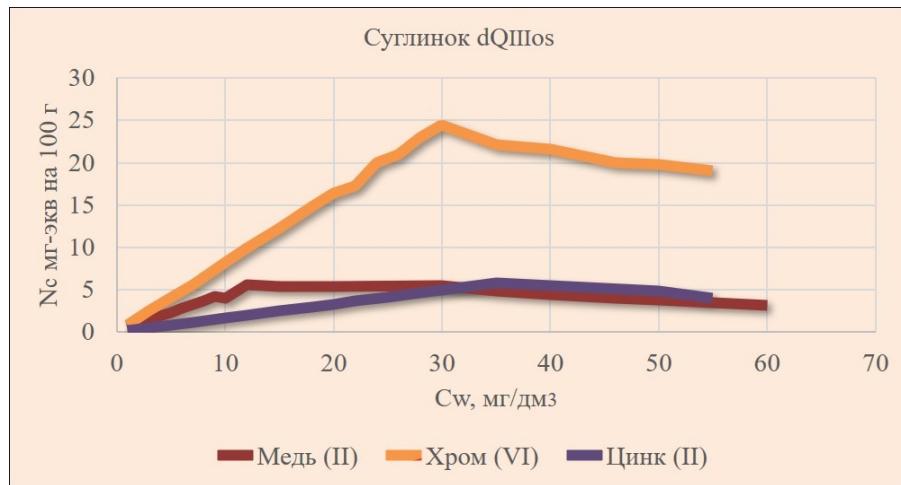


Рисунок 1 - Изотермы адсорбции меди, хрома, цинка  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85.2>

По данным С.С. Морозова и А.К. Ларионова емкость обмена дисперсных пород южного региона изменяется от 9 до 40 мг-экв/100 г. Сведений о СЕС отдельных литологических разновидностей в их работах не приводятся. Согласно принятой в грунтоведении классификации Ф.Д. Овчаренко, полученные значения соответствует низкой и средней емкости обмена. К такому же выводу приходят другие авторы, результаты исследования которых приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Сорбционная емкость литологических разновидностей дисперсных пород по данным различных авторов  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85.3>

Литологические разновидности дисперсных пород	СЕС, мг-экв/100 г		
	Хансива рова Н.М.	Шувал ова Л.П. <sup>1</sup>	Ананьев В.П., Коробкин В.П.
Почва Р <sub>d</sub> <sub>IV</sub> , современная почва - чернозем, суглинки, глины	35 - 40	-	-
dQ <sub>IIIos</sub> - суглинки легкие, светло-желтые, лессовидные, макропористые, с включением карбонатов, просадочные	14,0 – 14,7	5 - 10	14,7 – 15,5
eQ <sub>IIIml</sub> - погребенный почвенный горизонт черноморского типа: суглинки темно-бурые	16,6	25,0 – 35,0	15,1 – 17,3
D <sub>IIIkl</sub> - суглинки средние светло-желтые различных оттенков, лессовидные, макропористые, с включением карбонатов и рыхлых известковистых скоплений,	15,1	20 - 25	14,0 – 15,1
eQ <sub>IIImk</sub> - погребенный почвенный горизонт: чередование суглинков тяжелых коричневых и черных черноземного типа	27	25 - 35	17,3 – 18,8
dQ <sub>IIImls</sub> - суглинки и глины красновато-бурые, лессовидные, слабомакропористые, с включениями мелкокристаллического гипса и отдельных крупных друз, известковых и карбонатных конкреций,	29	30	18,9 – 21,7
Глина N <sub>II</sub> s - глины легкие красно-бурые, местами серые, неслонистые, монолитного сложения, осколочной текстуры, плотные,	29	59	-

Примечание: данные приведены для емкости обмена по силикату натрия; зеленым цветом выделены породы с низкой СЕС < 15 мг×экв на 100 г грунта; желтым – со средней СЕС от 15 до 80 мг × экв на 100 г грунта

Анализ полученных значений показывает, что исследуемые нами литологические разновидности, в основном, имеют среднюю емкость обмена. Исключение составляют верхнечетвертичные легкие и средние суглинки осташковского и калининского горизонтов, которые относятся к низкоинтенсивным. Однако, величина емкости обмена характеризует потенциальные адсорбционные возможности отдельных литологических разновидностей, но не отражает реально протекающий процесс физико-химической адсорбции в грунтовых толщах. Они сложены различными в геолого-литологическом отношении слоями, сорбционные возможности которых могут существенно отличаться. Следует отметить, что важное значение имеет локация лиохимического барьера в грунтовой толще.

Например, классическая схема сорбции, при которой погребенные почвы поглощают катионы на 10–15% больше, чем вмещающие породы, не всегда наблюдается при определенных положениях их в разрезе [8], [9]. В связи с вышеизложенным, предлагается характеризовать физико-химическую адсорбцию в дисперсных породах коэффициентом интенсивности сорбции ( $K_c$ ) под которым понимается отношение количества сорбированного элемента породой ( $N_c$ ) к общему содержанию его в объеме опытных растворов ( $C_w$ ). Изменяется коэффициент от 0 до 1. По результатам эксперимента выделены 3 классификационные градации:

- 0–0,4 — породы слабоинтенсивные:  $dQ_{III-IV}$  — суглинки легкие,  $d_{III-IV}kl$  — суглинки средние;
- 0,5–0,8 — породы среднеинтенсивные:  $eQ_{III-IV}ml$ ,  $eQ_{III-IV}mk$  — суглинки тяжелые;  $dQ_{III-IV}ms$  — суглинки тяжелые или глины легкие;
- 0,8–1 — породы высокоинтенсивные: современные почвы,  $N_{II-S}$  — глины легкие.

Защищенность подземных вод зависит от наличия сорбционных геохимических барьеров различного состава и их сочетаний.

Далее нами рассмотрено применение полученного коэффициента, как показателя сорбционной способности дисперсных пород при оценке степени защищенности подземных вод на примере экокомплекса по обращению с отходами производства и потребления «ПБТО Кировский». Он расположен на юго-западе Ростовской области в Кагальницком районе вблизи станицы Кировской и занимает участок площадью 5 га. В геоморфологическом отношении территории ПБТО приурочена к водораздельному пространству долин рек Дон и Кагальник, относится к Приазовской слабовсхолмленной степной равнине Азово-Кубанской низменности. Рельеф площадки ровный со слабым уклоном в юго-западном направлении. Абсолютные отметки изменяются от 76,20 до 82,78 м. По данным бурения 102 скважин в геологическом строении принимают участие отложения кайнозойского комплекса, представленного делювиальными суглинками четвертичного возраста ( $Q_{III-IV}$ ) [12]. Согласно классификации ГОСТ 25100-2020, грунты относятся к классу — дисперсных, подклассу — связных, типу — осадочных, подтипу — эолово-делювиальных, виду — минеральных, подвиду — глинистых грунтов [11]. По результатам анализа пространственной изменчивости частных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами, выделены четыре инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

– ИГЭ-0 от 0,0–0,9 м — слой 1 — ( $eQ_{IV}$ ). Почвенно-растительный комплекс — глина от черной до темно-серой с глубиной переходящая в серо-коричневую, легкая пылеватая, от твердой до полутвердой, незасоленная, с примесью органических веществ 7–9%, с ходами землероев и корнями растений, мощность слоя 0,5–0,9 м.

– ИГЭ-1 от 0,4–0,9 до 6,7–16,43 м — слой 2 — ( $dQ_{III-IV}$ ). Суглинок средний, пылеватый, полутвердый, при полном водонасыщении мягкотекучий, незасоленный, без примеси органических веществ, ненабухающий, среднепросадочный, мощность слоя 5,7 — 15,5 м.

– ИГЭ-2 от 6,7–16,43 до 10,3–23,2 м — слой 3 — ( $dQ_{III-IV}$ ). Суглинок тяжелый пылеватый, твердый, незасоленный, без примеси органических веществ, ненабухающий, непросадочный, мощность 2,0–9,6 м. В составе ИГЭ-2 выделяется молого-шексвинский погребенный почвенный горизонт ( $eQ_{III-IV}$ ), мощность 0,5–1,4 м.

– ИГЭ-3 от 10,3–23,2 до 30,0 м — слой 4 — ( $dQ_{III-IV}$ ). Суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный, незасоленный в зоне аэрации, без примеси органических веществ, ненабухающий, непросадочный, мощность в зоне аэрации 0,2–3,6 м.

При бурении скважин в октябре 2018 г. подземные воды вскрыты на глубинах от 10,70 до 23,80 м.

В соответствие с выделенными градациями по коэффициенту интенсивности сорбции ( $K_c$ ), в зоне аэрации зафиксированы 4 геохимических барьера:

- высокой степени интенсивности — ИГЭ-0 — почвенный слой;
- два барьера средней степени интенсивности — тяжелые суглинки ИГЭ-2 и погребенного почвенного горизонта;
- слабой интенсивности — средние суглинки ИГЭ-1.

Геолого-литологическое строение и геохимические барьеры различной степени интенсивности приведены на рисунке 2.

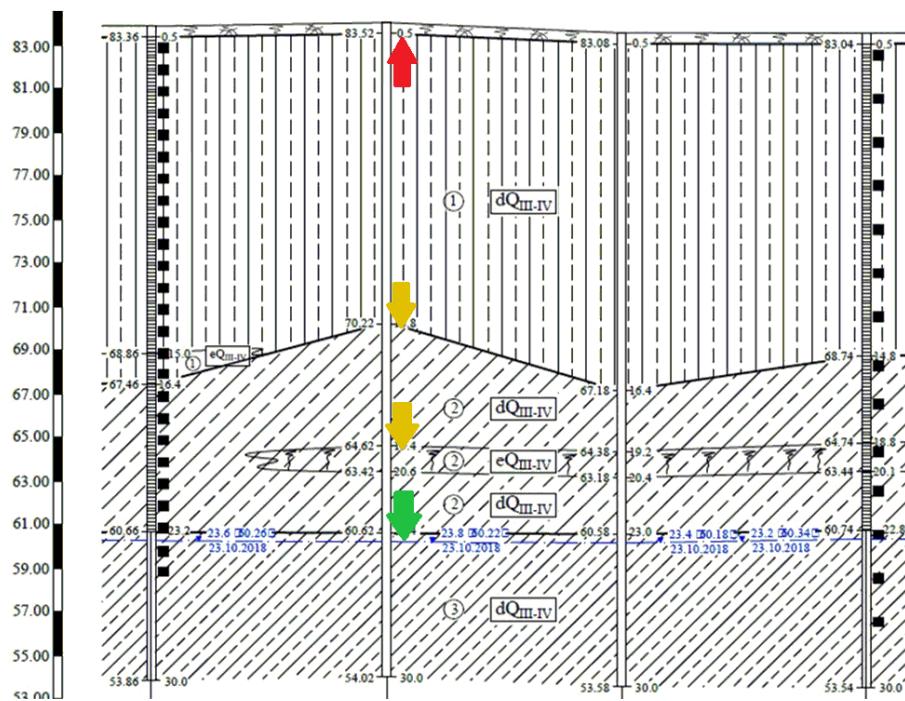


Рисунок 2 - Геолого-литологическое строение и геохимические барьеры различной степени интенсивности  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85.4>

*Примечание: зеленая стрелка – барьеры низкой степени интенсивности; желтые стрелки – барьеры средней степени интенсивности; красная стрелка – барьеры высокой степени интенсивности*

Следует отметить, что помимо сорбционных способностей отдельных литологических разновидностей, важными факторами являются их водопроницаемость, мощность и, как было указано выше, положение в грунтовой толще. По данным опытно-фильтрационных работ средние значения коэффициентов фильтрации составляют: для ИГЭ-1 — 0,62 м/сут; для ИГЭ-2 — 0,42 м/сут; для ИГЭ-3 — 0,48 м/сут [12]. Согласно методике В.М. Гольдберга, данные породы не относятся к слабопроницаемым, а следовательно, не обеспечивают защиту подземных вод [1]. Следовательно, на полигоне БТО, водопроницаемость отложений зоны аэрации не является существенной.

Наиболее сложным представляется учет положения барьеров в грунтовой толще. Он требует сложного анализа и дополнительных расчетов контрастности геохимических барьеров, массопереноса катионов в опытных геолого-литологических разрезах и др. В настоящее время нами получены только промежуточные результаты обозначенных исследований, однако считаем вполне обоснованным применение методики без рассмотрения локации геохимических барьеров в грунтовом массиве.

Наиболее сложным представляется учет положения барьеров в грунтовой толще. Он требует сложного анализа и дополнительных расчетов контрастности геохимических барьеров, массопереноса катионов в опытных геолого-литологических разрезах и др. В настоящее время нами получены только промежуточные результаты обозначенных исследований, однако считаем вполне обоснованным применение методики без рассмотрения локации геохимических барьеров в грунтовом массиве.

Таким образом, остается принять во внимание мощность литохимических барьеров, которая в пределах полигона изменяется весьма значительно, а на отдельных участках отмечается отсутствие некоторых из них. Нами предлагается ввести понятие «индекс защищенности» — произведение коэффициента интенсивности сорбции конкретного литологического барьера на его мощность:

$$X = N_{0,1,2,3} \cdot m_{0,1,2,3},$$

где:

$X$  — индекс защищенности;

$N_{0,1,2,3}$  — коэффициент интенсивность сорбции соответствующего барьера;

$m_{0,1,2,3}$  — мощность барьера на отдельных участках.

На территории полигона индекс защищенности изменяется от 14,28 до 29,31. Для ранжирования показателя выполнена статистическая обработка выборки полученных значений индекса. Предлагаемые категории защищенности подземных вод приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Категории защищенности подземных вод от загрязнения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85.5>

№ п/п	Интервал значений индекса защищенности, $X$	Название категории степени защищенности подземных вод	Цвет на карте
1	14,3 – 21,0	Низкая	Синий
2	20,0 – 24,5	Средняя	Желтый
3	24,6 – 30,0	Высокая	Красный

По вычисленным значениям составлена карта защищенности подземных вод от загрязнения (рис. 3).

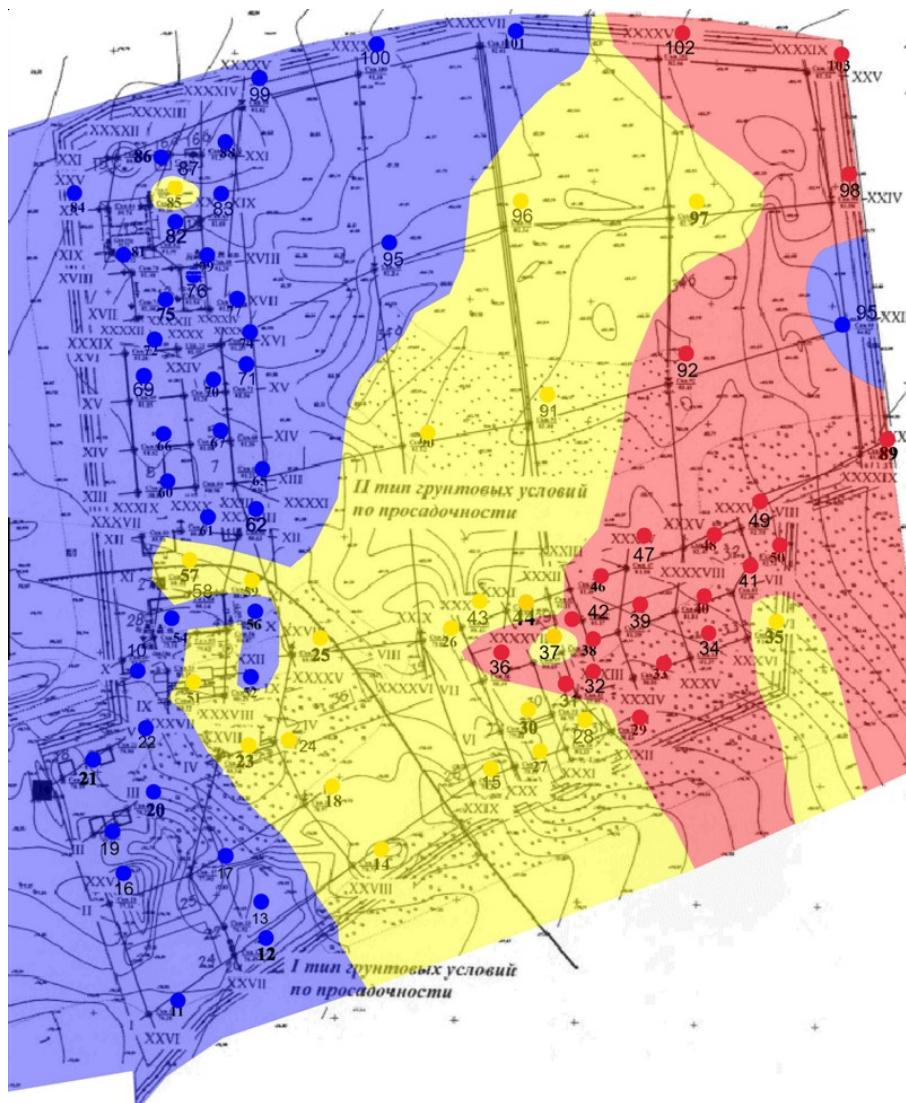


Рисунок 3 - Карта районирования территории ПБТО «Кировский» по степени защищенности подземных вод от загрязнения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.85.6>

Примечание: синий цвет – территории с низкой степенью защищенности; желтый цвет – территории со средней степенью защищенности; красный цвет – территории с высокой степенью защищенности

### Заключение

1. На юге Европейской части Российской Федерации экологическая обстановка во много определяется геохимическими и минералогическими особенностями поверхностных отложений кайнозойского комплекса осадочного генезиса. Грунтовые толщи кайнозоя слагают большую часть территории и представлены легкими, средними, тяжелыми суглинками, а также, легкими и тяжелыми глинами.

2. Экспериментальные исследования дисперсных пород демонстрируют их высокий адсорбционный потенциал по отношению к химическим элементам, вовлеченным в техногенные производственные процессы. Количество поглощенных химических элементов отдельными литологическими разновидностями неодинаково. Это обусловлено минералогическими особенностями, а именно, высоким содержанием глинистых минералов в тонкодисперсных фракциях и наличием органического вещества.

3. По результатам лабораторного моделирования установлено, что дисперсные породы можно рассматривать в качестве природных литохимических барьеров различной физико-химической активности, которую предлагается характеризовать коэффициентом интенсивности сорбции  $K_c$ . В изученных породах он изменяется от 0 до 1. Выделены породы: низкоинтенсивные со значениями  $K_c$  от 0 до 0,4; среднеинтенсивные с диапазоном  $K_c$  от 0,5 до 0,8; высокоинтенсивные,  $K_c$  выше 0,8. Защищенность подземных вод зависит от их наличия и сочетания в зоне аэрации.

4. В соответствие с полученными экспериментальными данными, на территории полигона «Кировский» представлены все типы литохимических барьеров. К высокоинтенсивному относится глина почвенного горизонта мощностью от 0,4 до 0,9 м. Наиболее выраженную защитную функцию имеют два барьера средней интенсивности — тяжелые суглинки ИГЭ-2 и приуроченная к ним молого-шексинская погребенная почва. Экспериментальные данные показали, что сорбционные свойства погребенных почвенных горизонтов на 10–20% выше по сравнению с вмещающими породами. Это связано с большим количеством глинистых минералов и органического вещества в составе твердой фазы ископаемых почв.

5. Практически все существующие методики оценки защищенности подземных вод, рассматривают фильтрационные свойства перекрывающих отложений. Однако, дисперсные породы, слагающие зону аэрации полигона «Кировский», имеют достаточно высокие коэффициенты фильтрации и не являются препятствием для поступления загрязняющих веществ. Следовательно, водопроницаемость пород полигона можно исключить из списка значимых факторов.

6. Важное значение в массопереносе загрязняющих веществ имеет длина пути миграции т.е. мощность геохимического барьера. В пределах полигона для выделенных литохимических барьеров она существенно различается и пространственно неоднородна. Предлагаемый автором показатель — «индекс защищенности», обеспечивает максимально точное выделение участков с разной степенью защищенности в пределах территории полигона. Показатель представляет собой произведение коэффициента интенсивности сорбции  $K_c$  литологического барьера на его мощность. Для полигона «Кировский» он изменяется от 14,28 до 29,31. Статистическая обработка выборки значений индекса позволила выделить три степени защищенности подземных вод и составить карту районирования.

7. Одним из недостатков разработанной методики представляется отсутствие конкретного частного значения коэффициента интенсивности сорбции  $K_c$ , что приводит к необходимости его выбора из предлагаемого диапазона значений. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку более точно показателя — коэффициента работы барьера, который позволит учесть локации барьеров в грунтовой толще и выявить их совместную защитную функцию.

## Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть представлена компетентным органам по запросу.

## Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## Список литературы / References

1. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод / сост. В.М. Гольдберг, С.Г. Мелькановицкая, В.М. Лукьянчиков. — Москва : ВСЕГИНГЕО, 1990. — 2-е изд. — 76 с.
2. Хансиварова Н.М. Применение интегрального показателя для оценки защищенности подземных вод на примере полигона твердых бытовых отходов в Неклиновском районе Ростовской области / Н.М. Хансиварова, О.С. Бондарева // Экология урбанизированных территорий. — 2022. — № 1. — С. 30–37.
3. Черкасов М.И. Инженерно-геологическое районирование Северного Кавказа / М.И. Черкасов. — Ростов-на-Дону : Издательство Ростовского университета, 1985. — 157 с.
4. Трофимов В.Т. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский [и др.]; под редакцией В.Т. Трофимова. — Москва : Издательство МГУ, 2005. — 6-е изд., перераб. и доп. — 1024 с.
5. Воронкевич С.Д. Инженерная геохимия с основами геохимии техногенеза / С.Д. Воронкевич. — Москва : Академическая наука, 2011. — 480 с.
6. Аナンьев В.П. Минералы лесовых пород / В.П. Аナンьев, В.И. Коробкин. — Ростов-на-Дону : Издательство Ростовского университета, 1980. — 200 с.
7. Хансиварова Н.М. Применение лабораторного моделирования для прогноза степени загрязнения дисперсных грунтов / Н.М. Хансиварова // Естественные и технические науки. — 2018. — № 12 (126). — С. 105–109.
8. Хансиварова Н.М. Особенности дисперсных пород как факторов формирования экологических условий / Н.М. Хансиварова // Естественные и технические науки. — 2019. — № 12 (138). — С. 148–152.
9. Khansivarova N.M. Structural and Tectonic Conditions as a Regional Geological Factor of Formation of the Environment in the European Part of Southern Russia / N. Khansivarova, Y.N. Kostyuk, C.A. Bessonova // Solid State

- Technology. — 2020. — Vol. 63. — № 3. — P. 2643–2650. — URL: <http://www.solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/2784> (accessed: 17.09.2025).
10. Khansivarova N.M. Mineralogy of Loess in Southern European Russia X-Ray Diffraction Data / N.M. Khansivarova, S.V. Levchenko, O.S. Bondareva [et al.] // Russian Geology and Geophysics. — 2022. — Vol. 63. — № 10. — P. 1–8. — DOI: 10.2113/RGG20204298.
11. Шувалова Л.П. Исследование влияния вещественного состава и свойств лёссовых пород на силикатизацию : на примере Причерноморского Азово-Кубан. и Терско-Кум. низменностей Рус. равнины : дис. ... канд. геол.-мин. наук : 04.00.07 / Л.П. Шувалова. — Ростов-на-Дону, 1981. — 240 с.
12. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. — Введ. 2021-01-01. — Москва : Стандартинформ, 2020. — 41 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Metodicheskie rekomendacii po vyyavleniyu i ocenke zagryazneniya podzemnykh vod [Methodological recommendations for the identification and assessment of groundwater pollution] / comp. V.M. Goldberg, S.G. Melkanovitskaya, V.M. Lukyanchikov. — Moscow : VSEGINGEO, 1990. — 2nd edition. — 76 p. [in Russian]
2. Khansivarova N.M. Primenenie integral'nogo pokazatelya dlya ocenki zashchishchennosti podzemnykh vod na primere poligona tverdykh bytovykh otkhodov v Neklinovskom rajone Rostovskoj oblasti [Application of an integral indicator to assess the protection of groundwater on the example of a solid waste landfill in the Neklinovsky district of the Rostov region] / N.M. Khansivarova, O.S. Bondareva // Jekologija urbanizirovannykh territorij [Ecology of urbanized territories]. — 2022. — № 1. — P. 30–37. [in Russian]
3. Cherkasov M.I. Inzhenerno-geologicheskoe rajonirovanie Severnogo Kavkaza [Engineering-geological zoning of the North Caucasus] / M.I. Cherkasov. — Rostov-on-Don : Rostov University Press, 1985. — 157 p. [in Russian]
4. Trofimov V.T. Gruntovedenie [Soil Science] / V.T. Trofimov, V.A. Korolev, E.A. Voznesensky [et al.]; edited by V.T. Trofimova. — Moscow : Moscow State University Publishing House, 2005. — 6th edition, revised and enlarged. — 1024 p. [in Russian]
5. Voronkevich S.D. Inzhenernaya geokhimiya s osnovami geokhimii tekhnogeneza [Engineering geochemistry with fundamentals of technogenesis geochemistry] / S.D. Voronkevich. — Moscow : Akademicheskaya nauka, 2011. — 480 p. [in Russian]
6. Ananyev V.P. Mineraly lessovykh porod [Minerals of loess rocks] / V.P. Ananyev, V.I. Korobkin. — Rostov-on-Don : Rostov University Publishing House, 1980. — 200 p. [in Russian]
7. Khansivarova N.M. Primenenie laboratornogo modelirovaniya dlya prognoza stepeni zagryazneniya dispersnykh gruntov [Application of laboratory modeling for predicting the degree of contamination of dispersed soils] / N.M. Khansivarova // Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. — 2018. — № 12 (126). — P. 105–109. [in Russian]
8. Khansivarova N.M. Osobennosti dispersnykh porod kak faktorov formirovaniya ekologicheskikh uslovij [Features of dispersed rocks as factors of formation of ecological conditions] / N.M. Khansivarova // Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. — 2019. — № 12 (138). — P. 148–152. [in Russian]
9. Khansivarova N.M. Structural and Tectonic Conditions as a Regional Geological Factor of Formation of the Environment in the European Part of Southern Russia / N. Khansivarova, Y.N. Kostyuk, C.A. Bessonova // Solid State Technology. — 2020. — Vol. 63. — № 3. — P. 2643–2650. — URL: <http://www.solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/2784> (accessed: 17.09.2025).
10. Khansivarova N.M. Mineralogy of Loess in Southern European Russia X-Ray Diffraction Data / N.M. Khansivarova, S.V. Levchenko, O.S. Bondareva [et al.] // Russian Geology and Geophysics. — 2022. — Vol. 63. — № 10. — P. 1–8. — DOI: 10.2113/RGG20204298.
11. Shuvalova L.P. Issledovanie vliyaniya veshchestvennogo sostava i svojstv lessovykh porod na silikatizaciyu : na primere Prichernomorskogo Azovo-Kuban. i Tersko-Kum. nizmennostej Rus. ravniny [Study of the influence of the material composition and properties of loess rocks on silicification: on the example of the Black Sea Azov-Kuban and Terek-Kuma lowlands of the Russian Plain] : dis. ... of PhD in Geological and Mineralogical Sciences : 04.00.07 / L.P. Shuvalova. — Rostov-on-Don, 1981. — 240 p. [in Russian]
12. GOST 25100-2020. Grunty. Klassifikaciya [Soils. Classification]. — Introd. 2021-01-01. — Moscow : Standartinform, 2020. — 41 p. [in Russian]