



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-89-96>
УДК: 556.3, 624.131.1



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН С ПОЗИЦИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ

ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, г. Москва 107140, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В последние десятилетия термин «ослабленная зона» получил широкое распространение в различных науках о Земле. Он широко используется в геологии, горном деле, геомеханике, тектонике, геодинамике, сейсмологии. Отсюда следует, что ослабленные зоны могут рассматриваться и трактоваться в довольно широком диапазоне, начиная от крупных разломных зон, включая зоны дилатансии, до зон с резко или довольно заметно изменяющимися физико-механическими свойствами. При этом цель изучения и учета таких зон также меняется, в том числе и в зависимости от масштаба исследований.

Цель. Рассмотреть структуры, широко используемые под термином «ослабленные зоны», но не получившие до сих пор четкого определения и классификации. Дать определение «ослабленная зона» с позиций гидрогеологии и инженерной геологии.

Материалы и методы. Основой для статьи послужили результаты многолетней работы автора в качестве эксперта по выбору площадок расположения объектов атомной энергии. Основными методами являлись сбор, систематизация и обработка информации, полученной автором в ходе полевых, лабораторных и камеральных исследований.

Результаты. Рассмотрены структуры, которые в науках о Земле получили термин «ослабленная зона», используемый применительно к достаточно широкому спектру структур и состояний горных массивов и грунтов. Приведено определение «ослабленная зона» с позиций гидрогеологии и инженерной геологии. Рассмотрены комплексные факторы, указывающие на наличие ослабленных зон и возможные негативные последствия для инженерных сооружений.

Закключение. В статье обоснована необходимость учета понятия «ослабленная зона» при детальном изучении территории расположения инженерных объектов. Отмечено, что при детальном изыскании ключом к количественной оценке характеристик слабых зон в дисперсных грунтах является корректная оценка пространственной изменчивости параметров грунтов, главным образом плотности сухого грунта и пористости.

Ключевые слова: ослабленные зоны, слабопроницаемые грунты, загрязнение подземных вод, пространственно-временная изменчивость характеристик грунтов, разрывы сплошности

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Гусельцев А.С. Определение ослабленных зон с позиций инженерной геологии и гидрогеологии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2023;65(4):89—96. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-89-96>

Статья поступила в редакцию 30.08.2023

Принята к публикации 26.09.2023

Опубликована 28.09.2023

DEFINITION OF WEAKENED ZONES FROM THE STANDPOINT OF ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY

ALEXANDR S. GUSELTSEV

*Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety
2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow 107140, Russia*

ABSTRACT

Background. In recent decades, the concept of weakened zones has become widespread in various fields of Earth science. Thus, this concept is currently used in geology, mining, geomechanics, tectonics, geodynamics, and seismology. As a result, weakened zones can be considered and interpreted both as large fault zones, including dilatancy zones, and zones with sharply or quite noticeably changing physical and mechanical properties. At the same time, the purpose of studying and recording such zones also changes, depending on particular research tasks.

Aim. To consider structures that are widely termed as weakened zones, although having received no clear definition and classification. To provide a definition of this term from the standpoint of hydrogeology and engineering geology.

Materials and methods. The research basis was formed by the author's long-term experience in the selection of sites for the location of nuclear energy facilities. The main methods included collection, generalization, and processing of information obtained by the author during fieldwork and laboratory research.

Results. The author considers structures that are termed as weakened zones in Earth sciences, concerning a fairly wide range of structures and conditions of mountain ranges and soils. A definition of a weakened zone from the standpoint of hydrogeology and engineering geology is proposed. Various factors indicating the presence of weakened zones and possible negative consequences for engineering structures are considered.

Conclusion. The concept of weakened zones should be taken into consideration when conducting detailed surveys of areas for the location of engineering facilities. It is noted that, when carrying out detailed surveys, the key to quantifying the characteristics of weakened zones in dispersed soils consists in a correct assessment of the spatial variability of soil parameters, largely the density of dry soil and porosity.

Keywords: weakened zones, weakly permeable soils, groundwater pollution, spatial and temporal variability of soil characteristics, discontinuities

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Guseltsev A.S. Definition of weakened zones from the standpoint of engineering geology and hydrogeology. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):89—96. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-89-96>

Manuscript received 30 August 2023

Accepted 26 September 2023

Published 28 September 2023

В последние десятилетия термин «ослабленная зона» получил широкое распространение в различных науках о Земле. Он широко используется в геологии, горном деле, геомеханике, тектонике, геодинамике, сейсмологии.

К ослабленным зонам приурочивается развитие рудоносных провинций гидротермального типа, где на участках повышенной тектонической активности по многочисленным мелким тре-

щинам из окружающей среды поступают рудоносные растворы [11].

Установлено, что над месторождениями (залежами) углеводородов имеются обширные субвертикальные ослабленные зоны различных наложенных друг на друга систем трещиноватости, по которым осуществляется интенсивная вертикальная миграция углеводородов к земной поверхности [2].

К этому можно добавить, что установленным является факт приуроченности месторождений указанных генетических типов к структурам, сформированным так называемыми магистральными разломами.

По данным камчатских ученых анализ пространственного размещения вулканов показывает, что если они формируются в зонах разломов, то группируются в ослабленных зонах, которые являются узлами пересечения разнонаправленных разломов.

Известно, что при освоении месторождений подземным способом в горных выработках почти сразу выявляются ослабленные зоны, где горный массив является подвижным или квазиустойчивым. Отдельные области массива в местах пересечения подвижных зон с выработками становятся водопроницаемыми и неустойчивыми. Возникновение трещин обусловлено различного рода напряжениями, возникающими при движении земной коры. Поскольку ослабленные зоны легко поддаются воздействию выветривания, не вызывает сомнения, что они, как и разломы и трещины, играют важную роль в формировании рельефа и гидрографической сети [7, 8].

Очевидно, что для выделения таких зон применимы все методы дистанционного и не дистанционного зондирования (дешифрирование космических и аэрофотоснимков, структурно-морфологические, геологические, геофизические, гидрогеологические и инженерно-геологические методы). В то же время ослабленные зоны занимают определенное место в иерархии уровней, используемых, к примеру, при структурно-геоморфологическом анализе (локальные, региональные и глобальные).

Считается, что наиболее чувствительным к тектоническим движениям экзогенным процессом является водная эрозия. Поэтому любые ослабленные зоны, например зоны повышенной трещиноватости, подвергаются эрозии в первую очередь, на них закрепляется гидросеть и они обнаруживают себя в рельефе в виде эрозионных ложбин разной масштабности.

Не вызывает сомнения, что такие зоны весьма интересны с позиций гидрогеологии и инженерной геологии. Для ослабленных зон, как уже отмечалось, характерна повышенная трещиноватость, дезинтеграция и водонасыщенность пород. Вдоль них активно развивается карст, наблюдаются интенсивные водоперетоки, устанавливается гидравлическая связь поверхностных и подземных вод. В результате всех этих явлений в зонах влияния разрывных нарушений наблюдается разуплотнение

и оседание вышележащих грунтов, инфильтрация поверхностных загрязнителей в водоносные горизонты питьевого назначения, формирование ландшафтных аномалий с высокими концентрациями химических элементов и веществ различных классов опасности на геохимических барьерах. В зонах влияния разломов часто наблюдаются деформации земной поверхности, приводящие к нарушениям целостности зданий, сооружений, дорог, трубопроводов, формирование аномалий радиоактивного газа радона в покровных отложениях над разломами и т.д. [1].

Инженерами-геологами и гидрогеологами термин «ослабленная зона» также используется на протяжении последних десятилетий и часто ассоциируется с зонами разуплотнения, пониженных прочностных и деформационных характеристик грунтов, развития экзогенных процессов, зон повышенной пористости и проницаемости.

В литературе, посвященной решению гидрогеологических и инженерно-геологических задач, вопросы повышенной проницаемости, миграции, развития различных экзогенных процессов всегда увязывались с тектоническими условиями, геодинамическим режимом, напряженно-деформированным состоянием грунтового массива (Гольдберг В.М., 1984, 1987; В.А. Мироненко, Румынин В.Г., 1998, 1999, 2020; Сергеев Е.М., Варга А.А., Бондарик Г.К., Зиангиров Р.С., Голодковская Г.А., Золотарев Г.С., Осипов В.И. и др., 1985; Кац Я.Г., Кутепов В.М., 1986; Хоменко В.П., 1987; Пашкин Е.М., Панкратов А.В., 2002; Несмеянов С.А., 2004, и др.).

Ослабленные зоны как объект исследований

Из всего сказанного следует, что понятие «ослабленные зоны» используется в науках о Земле применительно к достаточно широкому спектру структур и состояний горных массивов и грунтов. К ослабленным зонам причисляют:

- тектонически нарушенные зоны,
- зоны субпараллельного расщепления разломов,
- зоны трещиноватости,
- узлы пересечения разломов,
- узлы пересечения трещин,
- зоны разуплотнения пород и грунтов,
- зоны дилатансии,
- зоны влияния разрывных нарушений, вызывающие разуплотнение и оседание перекрывающих грунтов, часто служащих несущим основанием различных объектов,
- подвижные, квазиустойчивые, неустойчивые зоны горного массива и пр.

Отсюда следует, что ослабленные зоны могут рассматриваться и трактоваться в довольно широком диапазоне, начиная от крупных разломных зон, включая зоны дилатансии (в основном скальные и слабо литифицированные дисперсные грунты), до зон с резко или довольно заметно изменяющимися физико-механическими свойствами (дисперсные грунты). Зоны дилатансии, как уже упоминалось, это приразрывные зоны разгрузки напряжений, сопровождающиеся изменениями в физико-механических характеристиках слагающих их пород. При этом цель изучения и учета таких зон также меняется, в том числе и от масштаба исследований [8].

Несмотря на достаточно широкое использование термина «ослабленная зона», в литературе довольно редко встречаются его определения. Вот некоторые из них, используемые в инженерной геологии.

Ослабленная зона (при рассмотрении карстово-суффозионных процессов) — зона в покровных отложениях, соответствующая зоне деформаций (обрушения) этих отложений и их ослабления вокруг зоны деформаций (обрушения) [10].

Ослабленная зона — это локальный участок в зоне техносферного влияния, где может происходить или уже произошло аномальное снижение несущих свойств грунтов по сравнению с окружающими грунтами того же типа с последующим негативным проявлением этих свойств по отношению к зданиям и инженерным сооружениям [3].

Оба определения используются применительно к определенным объектам исследования в инженерной геологии и по этой причине не могут быть универсальными. Наиболее приемлемой представляется такая формулировка: ослабленная зона — это область грунта (породы), где имеет место закономерное пространственно-временное изменение его инженерно-геологических и гидрогеологических характеристик по направлению от зон со слабо выраженными изменениями до зон максимальных изменений или границ распространения (разрывы сплошности массива, скрытые и открытые гидрогеологические границы). Классификации ослабленных зон на сегодня не существует.

Ослабленные зоны часто увязываются со структурно-тектоническими построениями на рассматриваемой территории. Это не совсем корректно, т.к. такие зоны могут также развиваться на границе сред вследствие геолого-литологических неоднородностей и пространственно-временной изменчивости характеристик грунтового массива.

При этом необходимо также учитывать корректность таких построений и информативность результатов инженерно-геологических изысканий.

В зависимости от масштаба исследований и слагающего субстрата такие зоны так же, как структурно-тектонические, геоморфологические, геоэкологические объекты, обладают соответствующей иерархией и соподчиненностью.

Соответствующими рангу таких структур и их активности оказываются и масштабы их влияния на различные инженерные сооружения и объекты. Поэтому не вызывает сомнения роль таких структур при оценке инженерно-геологических условий территории и необходимость их изучения на всех этапах инженерно-геологических изысканий [9].

В таких зонах более интенсивно проявляется пространственно-временная изменчивость геологической среды и характеристик геологического поля. Пространственная изменчивость характеристик обусловлена распределением сил, вызывающих разуплотнение или упрочнение, а временная — изменением их величины и направленности во времени. Ослабленные зоны, в свою очередь, являясь следствием процессов разуплотнения (дилатансии), представляются структурами, в объеме которых плотностные и прочностные характеристики горных пород и грунтов ниже, чем в окружающем их массиве. Соответственно, пористость, трещиноватость и проницаемость в них увеличиваются.

Нельзя также обойти вопрос об «активности» таких структур. В том случае, когда они отождествляются с тектоническими нарушениями и разломами, это понятие, несмотря на множество нерешенных вопросов, достаточно устоялось. Оно, в частности, ассоциируется с сейсмической и геодинамической активностью, ролью тектонических нарушений в энерго- и массопереносе и связанными с этим ландшафтными аномалиями, экологическими проблемами, проявлением экзогенных и инженерно-геологических процессов.

Что касается «активности» таких зон в дисперсных и слабопроницаемых грунтах, то она проявляется в первую очередь в увеличении в ее пределах инфильтрации воды и других флюидов, а следовательно, в локализации экологических (к примеру, проникновения и накопления радона), экзогенных и инженерно-геологических процессов: деформаций земной поверхности, суффозии, образования просадочных воронок, оврагообразования и в конечном счете деформации и/или разрушения зданий. Отсюда следует, что если такая ослабленная зона не выделена,

к примеру, на момент изысканий на основе общепринятых методик (СП, ГОСТ и пр.), то в последующем под воздействием природных и техногенных факторов характеристики грунтов в пределах этой зоны могут ухудшиться. С определенного момента она может стать фактором геологического риска и сыграть негативную роль при строительстве и эксплуатации объекта.

С другой стороны, признавая связь таких зон с указанными явлениями и процессами, подчас не удается ответить на простой вопрос: почему тот или иной процесс происходит именно здесь, а не в другом месте, проследить направление и масштабы его развития, спрогнозировать возможные объемы охвата и время развития. Причина, вероятно, в том, что математический аппарат, позволяющий моделировать и прогнозировать различные процессы в инженерной геологии и гидрогеологии, применяется в основном при работе с уже имеющими место и достаточно хорошо изученными событиями, без учета возможности наличия ослабленных зон, их масштаба и пороговых характеристик. В то же время при всей очевидности в необходимости выделения таких зон методически это не отработано. Но если на основе принятых методик такие зоны выделить не получается, то резонно встает вопрос — как это делать? На самом деле проблема лежит не в плоскости отсутствия методики как таковой, а в более осмысленном применении тех знаний, которые уже достигнуты в науках о Земле, но на качественно новом уровне, в придании этому процессу упорядоченного и законченного алгоритма. Требуется и некоторое изменение правил, к примеру, опробования грунтов. Связано это, очевидно, с отсутствием четкого определения и классификации таких зон и их места в пантеоне геологических объектов, а также геометрических и физических границ их определения.

Когда речь идет об ослабленных зонах — зонах разуплотнения скальных и полускальных грунтов, залегающих с поверхности земли или перекрываемых дисперсными грунтами небольшой мощности, то такие зоны часто ассоциируются с зонами разрыва сплошности, в роли которых выступают разрывные нарушения разного ранга или их ассоциации, а также связанные с ними зоны дилатансии.

Под разрывами сплошности в данном случае понимается весь ряд нарушений тектонического и нетектонического характера. Существует ряд шкал, ранжирующих разрывные, в основном тектонические, нарушения. Например,

шкала Кайе — Пиотровского, используемая в основном при выделении зон вероятных очагов землетрясений (ВОЗ) при оценке территорий размещения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) (табл. 1) [11].

В соответствии с ней земную кору и верхнюю мантию рекомендуется рассматривать как дискретно-иерархическую структуру, каждый блок которой состоит из более мелких блоков и сам, в свою очередь, является частью более крупного блока. Переход от блоков одного порядка к следующему выражается чередованием отношений их максимальных размеров, кратных 3,3 и 3. Сразу следует отметить, что с уменьшением размеров блоков указанный коэффициент может уменьшаться.

Наиболее интересными для рассматриваемой проблемы являются нарушения, отвечающие примерно IX—XII рангам по указанной шкале. Почему интересны именно IX—XII ранги? Причина заключается в том, что при инженерных изысканиях, особенно для крупных и промышленно опасных объектов, к которым, в частности, относятся ОИАЭ, ранги с X по XVI и более изучаются достаточно пристально, с использованием аэро-космофотоснимков, геологических и геофизических методов. Ранги IX—XII, как правило, если и попадают в поле зрения исследователей, то им практически не уделяется внимания с точки зрения изучения ослабленных зон. Не зря в РБ-019-18 эта шкала дана в усеченном виде, начиная с X ранга. Ранги с I по VIII также представляют интерес, но могут исследоваться только в составе специальных работ, выполняемых в ограниченных объемах (котлованы, шурфы, канавы и пр.) или в лабораторных условиях, т.к. затрагивают детальный уровень вплоть до размеров кристалла.

Совсем по-другому обстоят дела при оценке изменчивости геологического параметра дисперсных и слабопроницаемых грунтов. Здесь в первую очередь необходимо учитывать то, что не все характеристики практически могут быть оценены с достаточной точностью. Это касается в основном механических характеристик грунтов и объясняется большим влиянием случайных составляющих при их определении. Поэтому необходимо выделить те характеристики, которые играют ведущую роль при формировании параметров и характеристик, участвующих, к примеру, в расчетах деформации основания и устойчивости сооружения [6].

В этом смысле согласно [5] наиболее удобными, не очень зависимыми от точности определения и в то же время находящимися в тесной связи

Таблица 1. Порядок, ранг и протяженность сейсмогенных структур, масштаб исследований и виды работ по уточнению геодинамических и сейсмических условий площадки объекта использования атомной энергии
Table 1. The order, rank and extent of seismogenic structures, the scope of research and types of work to clarify the geodynamic and seismic conditions of the site of the nuclear facility

Масштабность структуры	Порядок	Ранг	Протяженность, км	Масштаб исследований	Виды работ
Планетарная	XVIII	1	10 000—20 000	1: 50 000 000	ОСР
	XVII	2	3000—6000	1: 50 000 000	ОСР
Региональная	XVI	3	1000—2000	1: 5 000 000, 1: 500 000	ОСР
Местная	XV	4	300—600	1: 500 000	ДСР
	XIV	5	100—200	1: 500 000	ДСР
	XIII	6	30—60	1: 500 000, 1: 50 000	ДСР, УСТУ
Местная, локальная	XII	7	10—20	1: 50 000	УСТУ
Локальная	XI	8	3—6	1: 50 000	УСТУ
	X	9	1—2	1: 50 000	УСТУ

Примечание. Планетарная — структура, разделяющая литосферные плиты; региональная — крупнейшая структура в пределах литосферной плиты; местная — наиболее крупная структура в пределах регионального блока земной коры; локальная — наиболее крупная структура в пределах местного блока земной коры, ОСР — общее сейсмическое районирование, ДСР — детальное сейсмическое районирование, УСТУ — уточнение сейсмотектонических условий.

Note. Planetary — a structure separating lithospheric plates; regional — the largest structure within the lithospheric plate; local — the largest structure within the regional block of the earth's crust; spote — the largest structure within the local block of the earth's crust, OSR — general seismic zoning, DSR — detailed seismic zoning, USTU — clarification of seismotectonic conditions.

с другими характеристиками, часто определяя их величину, являются пористость и плотность сухого грунта. При этом, как уже отмечалось, пористость является также миграционным параметром, определяющим корректность процесса схематизации гидрогеологических условий. Другим положительным качеством этих характеристик является возможность получения достаточного количества их определений, позволяющего производить корректную статистическую обработку, предписанную [4].

В пункте 4.6 [4] указано, что статистическую обработку результатов испытаний выполняют для выделения инженерно-геологического элемента (ИГЭ) или расчетного геологического элемента (РГЭ). За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения, подвида или разновидности (см. ГОСТ 25100) при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно) либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. В случае выявления закономерности должны выполняться требования 5.5 [4]. ИГЭ наделяют постоянными нормативными и расчетными значениями характеристик. Комплекс ИГЭ используют при создании инженерно-геологической модели объекта.

В пункте 5.5 [4] указано, что при наличии закономерного изменения характеристик грунтов

в каком-либо направлении следует решить вопрос о необходимости разделения предварительно выделенного ИГЭ на два или несколько новых ИГЭ.

Дополнительное разделение ИГЭ не проводят, если выполняется условие

$$V < V_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где V — коэффициент вариации, вычисляемый по п. 6.4; $V_{\text{доп}}$ — допустимое значение, принимаемое равным для физических характеристик 0,15, для механических, а также для параметров зондирования 0,30.

Если коэффициенты вариации превышают указанные значения, дальнейшее разделение ИГЭ проводят так, чтобы для вновь выделенных ИГЭ выполнялось условие (1).

К сожалению, на практике указанные рекомендации часто не выполняются. Нарушается требование выборки только из генеральной совокупности рассматриваемой характеристики. Более того, значения определений, не попадающие в диапазон 3-х сигм (σ), просто отбрасываются, а причина их появления не анализируется. Указанный документ [4] также способствует ситуации, когда наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь, а не пытаться понять причины.

К этому часто добавляется игнорирование предписанных нормативными документами работ, обязательных к выполнению и способствующих

выделению ослабленных зон (изучение материалов прошлых лет, структурно-тектонико-геоморфологические исследования, инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка, геофизические работы). Изъятие этих работ из номенклатуры предписанных и такая статистическая обработка, не позволяющая корректно показать пространственную изменчивость характеристик грунтов, повышают вероятность пропуска ослабленных зон. Это не значит, что игнорирование таких зон может пройти бесследно для объекта. И если они не проявляются в течение первых 30—50 лет, то могут проявить себя спустя длительное время. Примеры тому можно найти при оценке эксплуатационной пригодности памятников архитектуры. Но бывают проявления и в более короткое время.

Ключом для количественной оценки характеристик ослабленных зон является оценка пространственной, а в случае наличия временных срезов, пространственно-временной изменчивости характеристик пород и грунтов. Для этого она требует более точной пространственной оценки характеристик и должна опираться на использование статистики при оценке изменчивости по вертикальной координате и на ее основе построения карт изменчивости. В этом случае для дисперсных, и в частности глинистых, грунтов, кор выветривания необходимо менять методику опробования в плане увеличения количества точек опробования и их пространственной равномерности.

В процессе инженерно-геологических работ распределение точек опробования в плане несравнимо мало по отношению к точкам топографической съемки. Поэтому важно располагать такие точки с учетом рабочей гипотезы возможного проявления ослабленных зон, основанной на результатах указанных выше исследований. На площадках размещения объектов, если это возможно, наиболее оптимальной является разведка по сетке, при необходимости со сгущением на участках посадки зданий и сооружений.

При гидрогеологических исследованиях картина усугубляется еще более ограниченным числом определений проницаемости или коэффициента фильтрации (K_f), которые весьма редко позволяют проводить статистическую обработку, не говоря о том, что точность определений гидрогеологических параметров достаточно низкая. Поэтому на участках детальной инженерно-геологической разведки лучше опираться на результаты оценки пространственной изменчивости пористо-

сти грунтов, установления корреляций между этими двумя характеристиками и построения на этой основе карт проницаемости.

Заключение

Рассмотрены структуры, которые в науках о Земле получили термин «ослабленная зона», используемый применительно к достаточно широкому спектру структур и состояний горных массивов и грунтов. Такие зоны весьма интересны с позиций гидрогеологии и инженерной геологии. Для ослабленных зон характерна повышенная трещиноватость, дезинтеграция и водонасыщенность пород. Вдоль них активно развивается карст, наблюдаются интенсивные водоперетоки, устанавливается гидравлическая связь поверхностных и подземных вод. В результате всех этих явлений в зонах влияния разрывных нарушений наблюдается разуплотнение и оседание вышележащих грунтов, инфильтрация поверхностных загрязнителей в водоносные горизонты питьевого назначения, формирование ландшафтных аномалий с высокими концентрациями химических элементов и веществ различных классов опасности на геохимических барьерах. В зонах влияния разломов часто наблюдаются деформации земной поверхности, приводящие к нарушениям целостности зданий, сооружений, дорог, трубопроводов, формирование аномалий радиоактивного газа радона в покровных отложениях над разломами и т.д.

Показано, что зоны ослабления формируются вокруг разрывов сплошности геологической среды, которыми выступают трещины и разломы разных рангов. Такие зоны «просвечивают» через перекрывающие их рыхлые отложения, вызывая ослабление последних. Одним из результатов возникновения таких зон является пространственно-временная изменчивость физико-механических свойств грунтов и пород, повышение проницаемости, улучшающее миграцию различных флюидов, включая подземные воды. В совокупности такие явления получили термин «ослабленные зоны».

В зависимости от целей и масштаба исследований, слагающего субстрата, ранга и активности таких структур показаны основные направления и возможности изучения слабых зон. Отмечено, что при детальных изысканиях ключом к количественной оценке характеристик слабых зон в дисперсных грунтах является корректная оценка пространственной изменчивости параметров грунтов, главным образом плотности сухого грунта и пористости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алехин В.И.* Разломы земной коры как зоны экологического риска // Эл. журнал «Проблемы экологии». ДонНТУ. 2004. № 1—2.
2. *Белоносов А.Ю., Курчиков А.Р.* Технология комплексных исследований для поисков, разведки и доразведки нефтяных месторождений Западной Сибири // НИИГиГ ТюмГНГУ. Вестник недропользователя ХМАО, №7, 2001, с. 58—60.
3. *Гольдберг В.М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 263 с.
4. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
5. *Гусельцев А.С., Пендин В.В., Барулин Г.П., Горобцов Д.Н.* Оценка пространственной изменчивости свойств грунтов основания при размещении АЭС // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 6. С. 35—41.
6. *Дмитриев В.В., Ярг Л.А.* Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие. М.: КДУ, 2008. 542 с.
7. *Ермаков Н.И.* Геомеханика и конкурентноспособность горных предприятий Урала. Екатеринбург: Институт горного дела УрОРАН, 2004.
8. *Макеев В.М., Гусельцев А.С., Кравченко И.М.* Проблема выявления ослабленных зон при изучении инженерно-геологических условий (на примере территории Бушерской АЭС) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2020. № 5.
9. *Пендин В.В., Гусельцев А.С.* Организация управления подземной гидросферой на объектах атомной энергетики (на примере АЭС Бушер) // Инженерная геология. 2006. Ноябрь. С. 21—32.
10. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка исходной сейсмичности района и площадки размещения объекта использования атомной энергии при инженерных изысканиях и исследованиях». РБ-019-18 (В редакции приказа Ростехнадзора от 11 мая 2018 г. № 208).
11. *Сотников В.И.* Основные тенденции развития теории рудообразования. Новосибирский государственный университет, Науки о Земле, 1996.

REFERENCES

1. Alekhin V.I. Faults of the earth's crust as zones of environmental risk // El. magazine «Problems of Ecology». DonNTU. 2004. No. 1—2.
2. Belonosov A.Y., Kurchikov A.R. Technology of integrated research for prospecting, exploration and additional exploration of oil fields in Western Siberia // NIIGiG Tyumen State Oil and Gas University. Bulletin of the subsoil user of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug, No. 7, 2001, pp. 58—60.
3. Goldberg V.M., Gazda S. Hydrogeological foundations of underground water protection from pollution. M.: Nedra, 1984. 263 p.
4. GOST 20522-2012. Soils. Methods for statistical processing of test results.
5. Guseltsev A.S., Pendin V.V., Barulin G.P., Gorobtsov D.N. Assessment of spatial variability of the properties of foundation soils during the siting of nuclear power plants. Izvestiya vuzov. Geology and exploration. 2017. No. 6. P. 35—41.
6. Dmitriev V.V., Yarg L.A. Methods and quality of laboratory soil study: textbook. M.: KDU, 2008. 542 p.
7. Ermakov N.I. Geomechanics and competitiveness of mining enterprises in the Urals. Ekaterinburg: Institute of Mining URORAN, 2004.
8. Makeev V.M., Guseltsev A.S., Kravchenko I.M. The problem of identifying weakened zones when studying engineering-geological conditions (using the example of the territory of the Bushehr NPP) // Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2020. No. 5.
9. Pendin V.V., Guseltsev A.S. Organization of underground hydrosphere management at nuclear power facilities (using the example of NPP «Bushehr») // Engineering Geology. 2006. November. pp. 21—32.
10. Safety Guide for the Use of Nuclear Energy «Assessment of the initial seismicity of the area and site of a nuclear facility during engineering surveys and research». RB-019-18 (As amended by Rostekhnadzor order dated May 11, 2018 No. 208).
11. Sotnikov V.I. Main trends in the development of the theory of ore formation. Novosibirsk State University, Geosciences, 1996.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Гусельцев А.С. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexandr S. Guseltsev — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Гусельцев Александр Сергеевич — канд. геол.-мин. наук, начальник лаборатории отдела учета внешних взаимодействий ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности». 2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, г. Москва 107140, Россия
e-mail: guseltsev@secnrs.ru
тел.: +7 (916) 577-54-03

Alexandr S. Guseltsev — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Head of the Laboratory of the Department of Accounting for External Interactions of the Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety. 2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow 107140, Russia
e-mail: guseltsev@secnrs.ru
tel.: +7 (916) 577-54-03