

ГЕОГРАФИЯ ЗА РУБЕЖОМ

УДК 551.4 (5-011)

DOI: 10.15372/GIPR20210317

З. ЗЕРААТКАР, А.Х. СИУКИ, А. ШАХИДИ

Бирджендский университет,
9717434765, Бирдженд, Университетский бульвар, административное здание, Иран,
z.zeraatkar@birjand.ac.ir, Abbaskhashei@birjand.ac.ir, Ashahidi@birjand.ac.ir

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТКОВ С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМ ОСЕДАНИЕМ ГРУНТА
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
(НА ПРИМЕРЕ БИРДЖЕНДСКОГО ВОДОНОСНОГО СЛОЯ, ИРАН)**

В аридных регионах дефицит водных ресурсов и стремительный прирост населения привели к нарушению природного баланса, а также к внезапному или постепенному оседанию грунта. Поэтому даже при наличии воды на поверхности Земли в будущем ее потенциальное просачивание вглубь будет в значительной степени затруднено. Следовательно, в случае утраты водных пространств это будет происходить постоянно, что означает исчезновение водоносных слоев. В настоящем исследовании использовано шесть критериев (гидрология, литология и т. д.) для определения потенциального оседания грунта над водоносным слоем в Бирдженде с помощью метода аналитических сетей. Метод сбора данных основан на опросах и консультациях с экспертами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что гидрогеологический критерий и субкритерии водообеспеченности и использования подземных вод играют наиболее важную роль в определении потенциального оседания грунта. Выявлено, что около 14 % водоносного слоя обнаруживает тенденцию к оседанию в районе пос. Дастгерд, селитебной территории Масумиех и г. Хусф. Согласно данным наблюдений за поступлением сточных вод в водоносные слои под селитебными территориями, имело место уменьшение водообеспеченности, что привело к постепенному выходу из строя колодцев с донным питанием. В связи с этим необходимо уделять больше внимания планированию землепользования, особенно в отношении селитебных территорий, которые подвержены повышенному риску.

Ключевые слова: водоносный слой, оседание грунта, Бирдженд, метод аналитических сетей, сточные воды.

Z. ZERAATKAR, A. KH. SIUKI, A. SHAHIDI

University of Birjand, 9717434765, Birjand, University Blvd., Administrative Bldg., Iran,
z.zeraatkar@birjand.ac.ir, Abbaskhashei@birjand.ac.ir, Ashahidi@birjand.ac.ir

**DETERMINING THE AREAS WITH POTENTIAL LAND SUBSIDENCE USING
THE ANALYTICAL NETWORK PROCESS (CASE STUDY: BIRJAND AQUIFER, IRAN)**

In arid regions, the shortage of water resources and a rapid population growth have damaged the natural balance and caused a sudden or gradual land subsidence. Therefore, in future, even if there is water on the surface of the Earth, its potential penetration will be reduced greatly. Hence, if these water spaces are lost, they will be lost permanently and it will be the end of an aquifer's life. In this study, six criteria (hydrology, lithology, etc.) were used to determine the potential land subsidence above the Birjand aquifer by the analytical network process. The method of collecting data was based on questionnaires and interviews with experts. Results show that the hydrogeological criterion and the sub-criteria of water resources availability and groundwater exploitation have the most important role in potential land subsidence. In addition, about 14 % of the aquifer is prone to subside in the Dastgerd village, the Masoumiyeh residential area and Khusf town. According to observational data on the influx of sewage below the residential areas, there has been a downturn that has caused the breakdown of open wells with the passage of time. Therefore, it is imperative for planners to pay more attention in land use planning in these areas, especially residential areas that are more at risk.

Keywords: groundwater aquifers, land subsidence, Birjand, analytical network process, sewage.

ВВЕДЕНИЕ

Научные исследования явления оседания грунта впервые были выполнены в Бельгии в 1825 г. [1]. В этом отношении одной из самых репрезентативных территорий в мире является Мехико, где использование подземных вод выше уровня их естественного возобновления в течение последних 60 лет привело к понижению уровня грунтовых вод, при этом оседание грунта достигало 5 м. Оседание грунта также нанесло ущерб в Финиксе, Лас-Вегасе, Хьюстоне и в штате Калифорния (США), в Ниигате (на севере Японии) и в районе Вайракей (Новая Зеландия) [2]. Это явление также было зафиксировано в Денвере (США) [3], Бангкоке (Таиланд) [4] и на некоторых обширных равнинах в Узбекистане и Азербайджане [5]. Интенсификация оседания грунта может быть обусловлена многолетним использованием воды из подземных источников, а также добычей нефти и газа. По определению Американского геологического института (США), оседание грунта означает понижение или опускание уровня земной поверхности, причем этот процесс также может сопровождаться вектором незначительного горизонтального смещения [6]. Согласно другому определению [7], это явление характеризуется нисходящим движением или опусканием грунта и по разным причинам развивается в значительных масштабах. Этот тип движения отличается от других массовых перемещений вертикальным направлением, когда боковое движение либо весьма незначительное, либо вообще отсутствует.

Развитие явлений оседания грунта возможно в двух различных средах: в растворимых породах (известняки, доломиты, гипс и соль), погребенных под рыхлыми отложениями, и в рыхлых молодых отложениях с высокой степенью порозности, залегающих под аллювиальными и маломощными отложениями [8]. Нахождение местоположения — процесс определения пространственных и непространственных характеристик грунта при выборе оптимального участка для конкретного использования. Поэтому при определении местоположения осуществляется анализ территории для деятельности в регионе с учетом пригодности земельного участка, а также других видов его использования. Эти возможности и характеристики земельного участка зависят от конкретных обстоятельств. В соответствии с определенной задачей эти индикаторы следует использовать совместно с другими критериями при исследовании возможностей земельного участка.

В отдельных регионах Ирана, особенно в последние годы, оседание грунта наблюдалось в сочетании с понижением уровня подземных вод в водоносных горизонтах [9–14]. Согласно проведенным исследованиям, явление оседания грунта характерно примерно для 300 обширных равнин в Иране. Работы проводились исключительно в тех районах, где последствия этого явления наиболее выражены. Результаты исследований говорят о том, что процесс оседания грунта имеет значительное распространение. Это касается следующих равнин: Мешхедской, Рефсенджанской, Кебудрахенгской, Фаменинской, Аман-Абад-Вераминской, Назарабадской в Тегеране и Северомахьярской в Исфахане. Б. Османоглу, Т.Х. Диксон, С. Вдовински, Э. Кабраль-Кано и Ю. Цзян [15] рассчитали масштабы оседания грунта в Мехико на основе данных дистанционного зондирования, составили карту интенсивности оседания грунта, исследовали данное явление в юго-восточной части города и выделили находящиеся в зоне риска земельные участки вдоль восточно-западного разлома.

А. Оздемир [16] исследовал карту проявлений оседания грунта в Турции на основе шести критериев, из которых наиболее эффективными были геологические, высота и расстояние от разлома. К. Тахери, Ф. Гутьеррес, Х. Мохсению, Э. Разиси и М. Тахер [17] проанализировали карту проявлений оседания грунта в провинции Хамадан с помощью восьми критериев и с использованием метода анализа иерархий и ГИС для чувствительных районов. А. Ахмади, Н. Маали Ахари и Т. Ахмади [18] изучили районы возможного оседания грунта на Ардебильской равнине и пришли к выводу, что это явление с наибольшей вероятностью может произойти на юго-востоке и западе равнины. Анализ результатов работ показывает, что до настоящего времени выполнено ограниченное число исследований для определения участков с потенциальным оседанием грунта.

Поскольку в провинции Южный Хорасан еще не проводились комплексные исследования по выявлению районов с потенциальным оседанием грунта, целью настоящей работы является использование метода аналитических сетей для определения участков возможного оседания грунта в бирджендском водоносном слое.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДЫ

Бирджендская равнина (32°53' с. ш., 59°13' в. д.) занимает площадь в 3407 км², из которых 1845 км² приходится на равнину, остальная часть относится к высокогорью. Равнина простирается между холмами и горами и их подножиями. На севере и северо-востоке равнины горный хребет Момен-Абад-

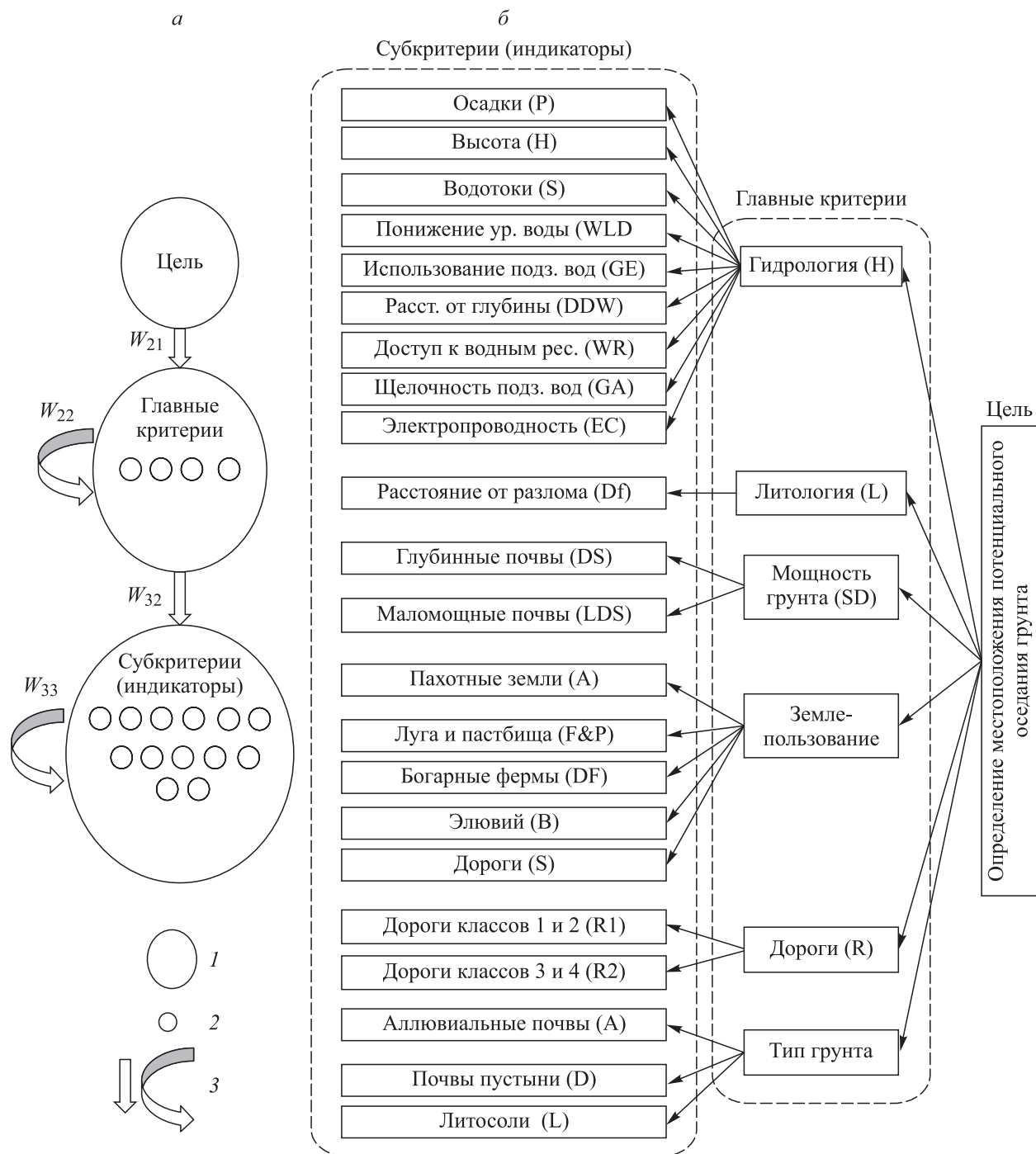


Рис. 1. Схема аналитического сетевого процесса (а) для оценки индексов (б) районов с потенциальным опусканием грунта.

1 — взаимозависимые компоненты сети; 2 — элементы сети; 3 — связи (внутренняя и внешняя зависимости) между элементами, определяемые матричными блоками W_{ij} суперматрицы $W = [W_{ij}]$ парного сравнения элементов.

Минабад (высота 2780 м над ур. моря) и Багхеранский горный хребет (высота 2720 м над ур. моря) ориентированы параллельно южной части равнины. Бирджендская равнина расположена в относительно аридном бассейне. Ввиду географического положения района исследования на окраине пустыни с дефицитом годовых осадков (167,2 мм), средней температурой 16,4 °С и значительным суммарным испарением, наблюдается острый дефицит водных ресурсов.

В последние годы явление оседания грунта в некоторых районах г. Бирдженда — серьезная проблема для управления городским хозяйством. Большинство несчастных случаев вызвано обрушением жилых домов.

В настоящей работе для ранжирования участков с потенциальным оседанием грунта эти территории были определены в результате изучения документальных источников (библиотечные архивы, Интернет и т. п.), отчетов, статистических данных и их экспертной оценки с использованием таких критериев, как гидрогеология, литология, мощность почвы, землепользование, дороги и тип почвы. Поскольку каждый критерий имеет в своем составе целый ряд субкритериев, причем и те и другие неодинаково эффективны при определении местоположения, то был использован аналитический сетевой процесс (АСП), а также программа Expert Choice Software (для поддержки принятия решений с использованием метода анализа иерархий) с учетом мнений экспертов и профессионалов в этой области для получения окончательного веса критериев и субкритериев.

Среди многокритериальных методов принятия решений метод анализа иерархий (МАИ) и аналитический сетевой процесс (АСП) — два важных общепринятых подхода, которые были предложены Т. Саати [19]. Метод анализа иерархий представляет собой обобщенный вариант АСП, в котором иерархии заменяются на сети и который может использоваться для анализа взаимозависимости и обратной связи среди критериев [20].

Аналитический сетевой процесс включает в себя определение задач исследования (оценку критериев для участков с потенциальным оседанием грунта) и главные компоненты (кластеры) и их элементы: критерии и субкритерии (индексы), определяемые для охвата задач исследования (рис. 1). Дерево взаимозависимостей переменных берет начало в вершине (цель) и идет в направлении к корню (кластер индексов). Необходимо определить общую структуру негармонической суперматрицы или начальной суперматрицы $W = [W_{ij}]$ в соответствии со структурой сети. На рис. 1, а представлена структура начальной суперматрицы, состоящей из блока (субматрицы) W_{ij} во взаимозависимости элементов кластера i от элементов кластера j . Элементы «главных критериев» зависят от кластера «цель» (блок W_{21}), а внутренние элементы кластера «главных критериев» также взаимозависимы (W_{22}). Кластер «субкритериев» также имеет симплексную связь с кластером «главных критериев» (W_{32}), причем также существует внутренняя связь для субкритериев каждого критерия (W_{33}).

Взаимозависимость W_{ij} устанавливается путем попарного сравнения элементов кластера. Матрица W_{ij} состоит из векторов, известных как приоритет влияния элементов кластера i на элементы кластера j . Ранги превосходства основаны на оценке по шкале ранжирования Т. Саати (1 — в равной степени важные, 3 — несколько более важные, 5 — более важные, 7 — намного более важные, 9 — абсолютно важные) [21]. Для получения взаимозависимостей использовались соответствующие экспертные заключения. Для достижения необходимого результата возможно использовать групповые оценки и экспертные заключения для попарного сравнения, когда элементы матрицы попарного сравнения выводятся из осредненной групповой оценки. Суперматрица $W = [W_{ij}]$ преобразуется во взвешенную суперматрицу W^* , где сумма элементов ее столбца равна единице. Для оценки глобальных приоритетов взвешенная суперматрица W^* возводится в большую степень n : $(W^*)^n$.

Главный собственный вектор рассчитывается для каждой субматрицы W_{ij} с целью определения приоритета элементов кластера. Неинвертированный вектор, получаемый из субматрицы попарного сравнения W_{21} главных критериев, представлен в табл. 1. Критерий «гидрология» имеет наивысший приоритет— 0,24848. Вторую позицию занимают значения «дороги» (R) и «мощности грунта» (SD).

В табл. 2 показаны матрица попарного сравнения и относительный вес субкритериев при ранжировании участков с потенциальным оседанием грунта. Гидрологический критерий представлен десятью субкритериями, основными из которых являются запасы водных ресурсов, количество осадков и объем подземных вод.

Таблица 1

Удельные значения шести критериев

Собственный вектор	Критерии
W_{12} 0,24848	Гидрология (H)
0,17408	Литология (L)
0,18389	Мощность грунта (SD)
0,13242	Землепользование (La)
0,18389	Дороги (R)
0,07723	Тип почвы (S)

Таблица 2

Матрица попарного сравнения и относительные веса субкритериев при приоритизации участков с потенциальным оседанием грунта

Критерий (см. табл. 1)	Вес критерия	Субкритерий	Относительный вес субкритерия
Н	0,24848	Высота	0,08910
		Водотоки	0,02710
		главные	0,01651
		малые	0,00825
		Понижение уровня воды	0,05223
		Использование подземных вод	0,08903
		Уровень воды в колодцах (DDW)	0,03678
		Доступ к водным ресурсам (WR)	0,11041
		Щелочность подземных вод (GA)	0,00547
L	0,17408	Электропроводность (EC)	0,00344
		Расстояние от разлома (Df)	0,02525
SD	0,18389	Глубинные почвы (DS)	0,01205
		Маломощные почвы (LDS)	0,01494
La	0,13242	Пашни (A)	0,03067
		Леса и пастбища (F&P)	0,02261
		Богарные земли (D)	0,01527
		Элювий (B)	0,00237
		Горные породы (ST)	0,03086
R	0,18389	Дороги 1–2-го классов (R1)	0,00362
		Дороги 3–4-го классов (R2)	0,00362
S	0,07723	Аллювиальные почвы (A)	0,03127
		Почвы пустыни (D)	0,00623
		Литосоли (L)	0,00434

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе определения местоположения участков с потенциальным оседанием грунта необходимо выделить информационные слои и подготовить их для каждого критерия и субкритерия в виде векторных карт и базы данных ГИС для последующей реализации. Следующий шаг включает оцифровку и географическую привязку информационных слоев, а также преобразование векторной карты в растровый формат. На этом этапе осуществляется реклассификация массива данных и оценка слоев. Процедура реклассификации необходима для объединения всех слоев, при этом они измеряются по общей шкале (рис. 2). В настоящем исследовании карта расстояний была составлена для некоторых информационных слоев (субкритериев). Затем каждой карте присваивались класс и вес в соответствии со значимостью каждого класса в программе Super Decision Software.

После выбора эффективных индикаторов при определении их веса с помощью АСП были выявлены соответствующие зоны с привлечением программы ARCGIS для каждого критерия и субкритерия. При изучении местоположения участков с потенциальным оседанием грунта учитываются гидрологические свойства грунта. Понижение уровня воды, обусловленное использованием водных ресурсов выше уровня их естественного возобновления, является одним из антропогенных факторов, приводящих к оседанию грунта.

Основными побочными эффектами понижения уровня воды являются следующие: потеря плодородности отложений, приводящая к увеличению эффективного веса предельного уровня полости; локальное увеличение скорости потока подземных вод, особенно в конусах депрессии; замещение потоков подземных вод ниже поверхности воды потоками, которые имеют большую способность вызывать внутреннюю эрозию. Этот эффект особенно выражен в случае понижения уровня воды ниже поверхности подстилающего слоя.

Для получения карты понижения уровня воды была составлена карта обратных взвешенных расстояний (IDW) района исследования, на которой показано понижение уровня воды за 10-летний период (2006–2016 гг.). Объемы и темпы использования подземных вод оказывают существенное

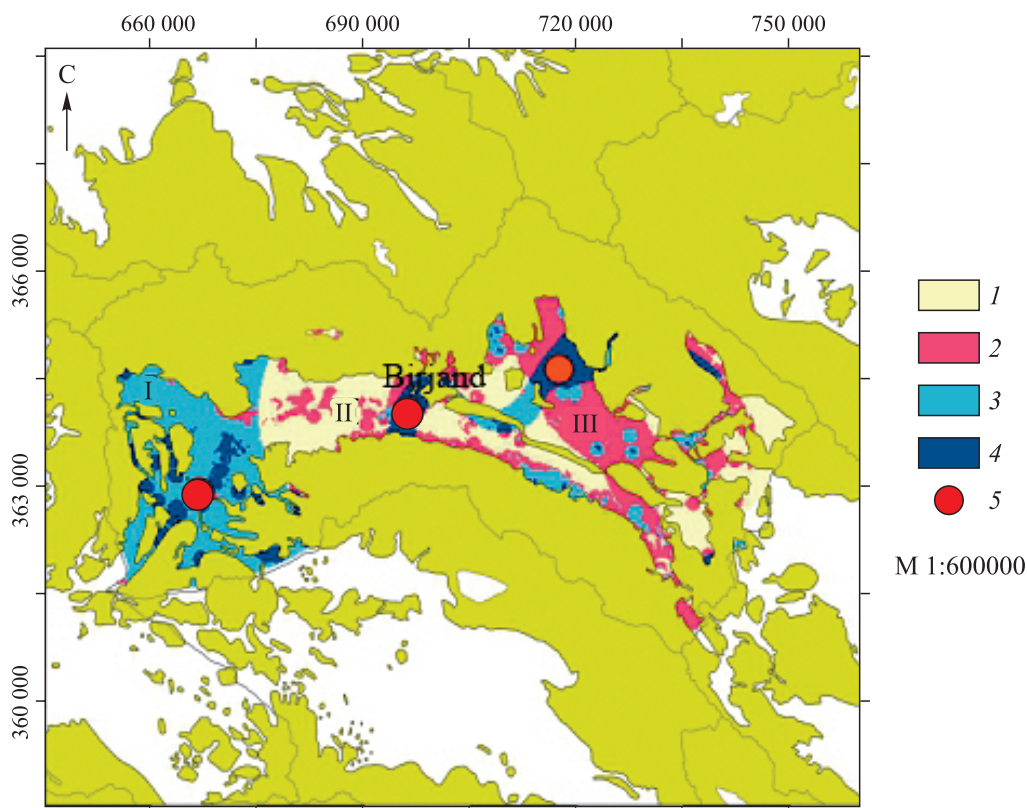


Рис. 2. Районы с потенциальным оседанием грунта в Бирджендском регионе с водоносными слоями.

Районы: I — западный, II — центральный, III — северный. Потенциал оседания грунта: 1 — низкий, 2 — средний, 3 — высокий, 4 — очень высокий. 5 — центры оседания грунта.

влияние на оседание грунта. Кроме того, существуют другие факторы, такие как скорость переноса и объемы водозабора, которые также определяют понижение уровня подземных вод.

Сила оседания грунта, давление и турбулентность потока обусловлены объемом и темпами использования подземных вод. Выкачивание подземных вод значительно возросло в западной части равнины по причине стремительного развития сельского хозяйства, промышленности и роста городов. При выявлении участков с потенциальным оседанием грунта следует проанализировать район исследования в аспекте землепользования, расположения дорог, механического состава и глубины залегания почвы, а также с точки зрения опасности, обусловленной рельефом местности (близость разломов). Также следует определить масштаб возможного ущерба путем оценки карт уязвимости района исследования. Независимо от их выраженного или скрытого характера проявления, разломы влияют на распространенность оседаний. Участки расположения разломов в карбонатных породах, как правило, имеют высокий коэффициент проницаемости. Вторичная порозность может быть особенно высокой в местах, где в разломах присутствуют растворенные вещества в контакте с нерастворимыми или непроницаемыми каменными включениями (контактный слой). Кроме того, разломы можно рассматривать как удобный путь для восходящего движения жидкости, которая присутствует в глуболежащих источниках, причем ее потоки усиливаются при смешивании с газами, такими как CO_2 или H_2S .

На основе сведений, полученных в ходе настоящего исследования, и литературных данных [22–24] были определены новые критерии. Результаты взвешивания критериев с помощью метода МАИ показали, что гидрогеологический критерий и такие субкритерии, как доступ к водным ресурсам и использование ресурсов подземных вод, относятся к наиболее значимым факторам потенциального оседания грунта в бирджендском водоносном слое, что согласуется с выводами К. Тахери, Ф. Парвизи и Р. Вализадех [23]. Согласно карте возможного оседания грунта в бирджендском водоносном слое (см. рис. 2), выделено три региона с наибольшим риском развития этой проблемы. Таким

образом, можно заключить, что северный, центральный и западный районы с водоносными слоями, расположенные вблизи пос. Дастгерд и селитебной территории Масумиех, подвержены явлению оседания грунта (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время точная характеристика любого участка является одним из требований к планированию использования земель на всех уровнях (национальном, региональном и локальном) с целью надлежащей реализации проектов. Определение местоположения участков возможного оседания грунта снижает риск негативных последствий для окружающей среды в результате реализации различных проектов.

Таким образом, в данном исследовании были определены эффективные критерии для выявления локальных рисков оседания грунта с использованием мнений экспертов. Аналитический сетевой процесс был использован для получения окончательных весов критериев и субкритериев. В результате оценки индексов с помощью АСП было определено, что наибольшее влияние на свойства грунта в районе бирджандского водоносного слоя оказывают такие критерии, как доступ к водным ресурсам и использование подземных вод. И наконец, в районе исследования были выявлены три участка с тенденцией к оседанию грунта, включая земли вблизи пос. Дастгерд и селитебной территории Масумиех. Таким образом, при планировании землепользования необходимо уделять более пристальное внимание этим участкам, особенно селитебным территориям, которые подвержены наибольшему риску.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Subsidence** Engineer's Handbook. — London: National Coal Board, 1975. — 111 p.
2. **Butkin D., Edward C.** Recognition of the Environment (Earth, the Living Planet) // Translated by Abdolhossein Vahabzadeh. — Mashhad: Mashhad University Press, 2007.
3. **Chatterjee R., Fruneau B., Rudant J.P., Roy P.S., Frison P.L., Lakhera R.C., Saha R.** Subsidence of Kolkata (Calcutta) City, India during the 1990s as observed from space by differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technique // Remote Sensing of Environment. — 2006. — N 102 (1). — P. 176–185.
4. **Phien-Wej N., Giao P.H., Nutalaya P.** Land subsidence in Bangkok, Thailand // Engineering Geology. — 2006. — N 82 (4). — P. 187–201.
5. **Baba A., Howard K.W.F., Gunduz O.** Groundwater and Ecosystems. Series Earth and Environmental Sciences. — Dordrecht: Springer, 2006. — 332 p.
6. **Soleimani-Shiri M.** Geomorphologic Opportunities and Constraints in Choosing Urban Development Axes, Case Study. — Darab: Tarbiat Modarres University, 2007.
7. **Тезаурус ЮНЕСКО** [Электронный ресурс]. — <http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/ru/page/concept969> (дата обращения 20.09.2020).
8. **Walthman A.C.** Ground Subsidence. — Glasgow; London: Blackie, 1989. — 202 p.
9. **Rahmanian D.** Land subsidence and sinkholes due to groundwater depletion in Kerman // Water. — 1983. — N 6. — P. 48–35.
10. **Abbasnejad A.** Reviewing the environment and environmental issues of Rafsanjan Plain // Proceedings of Articles of the Second Conference of the Iranian Geological Society. — Mashhad, 1998. — P. 20–35.
11. **Fatemi Aqda S.M., Nakhaee M., Bitellolahi A., Alari A.** The study of the formation mechanism of Hamdan central plain Sinkholes, Second conference on the engineering and environmental geology of Iran. — Tehran: Tarbiat Modares University, 2001. — Vol. 2. — P. 18–35.
12. **Rahnama H., Mirasi S.** A comprehensive study of the situation of the subsidence, considering the damage and its reasons, and providing appropriate solutions (Case study: Fars and Chaharmahalva and Bakhtiari Province) // Journ. of Road and Building. — 2013. — N 14-1.
13. **Almi A.** Studying the causes of land subsidence in Yazd-Ardakan plain, studying the causes of erosion of Sistan plain soils // Proceedings of the Third International Conference on Geotechnical and Soil Mechanics. — Tehran, 2000. — P. 429–434.
14. **Lashkari P.G.R., Ghafouri M., Dam-Shenas M.** The effect of underground water decline on groundwater quality in Fariman-Torbat-e-Jam Plain // Proceedings of the Twelfth Conference of the Iranian Geological Society. — 2008 [Электронный ресурс]. — <http://geosociety.ir> (дата обращения 20.06.2020).
15. **Osmanoğlu B., Dixon T.H., Wdowski S., Cabral-Cano E., Jiang Y.** Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR // International Journ. of Applied Earth Observation and Geoinformation. — 2011. — N 13 (1). — P. 1–12.
16. **Ozdemir A.** Sinkhole susceptibility mapping using a frequency ratio method and GIS technology near Karapınar, Konya-Turkey // Procedia Earth and Planetary Science. — 2015. — N 15. — P. 502–506.

17. **Taher K., Gutiérrez F., Mohseni H., Raeisi E., Taher M.** Sinkhole susceptibility mapping using the analytical hierarchy process (AHP) and magnitude-frequency relationships: A case study in Hamadan Province, Iran // *Geomorphology*. — 2015. — N 234. — P. 64–79.
18. **Amir Ahmadi A., Ma'aliAhari N., Ahmadi T.** Determining the areas with subsidence in Ardebil plain using GIS // *Journ. of Geography and Planning*. — 2013. — N 46. — P. 1–23.
19. **Saaty T.** The analytical hierarchy process: planning, priority setting resource allocation. — New York: McGraw-Hill, 1980. — 287 p.
20. **Shen Y.C., Lin G.T.R., Tzeng G.H.** Combined DEMATEL techniques with novel MCDM for the organic light emitting diode technology selection // *Expert Systems With Applications*. — 2011. — N 38 (3). — P. 1468–1481.
21. **Van Horenbeek A., Pintelon L.** Development of a maintenance performance measurement framework — using the analytic network process (ANP) for maintenance performance indicator selection // *Omega*. — 2014. — N 42 (1). — P. 33–46.
22. **Fazli S., Kiani Mavi R., Vosooghizaji M.** Crude oil supply chain risk management with DEMATEL — ANP // *Operationai Research*. — 2015. — N 15 (3). — P. 453–480.
23. **Taheri K., Parvizi F., Valizadeh R.** An introduction to sinkholes of Hamadan. — Kermanshah, 2005 [Электронный ресурс]. — file:///C:/Users/user/Downloads/SINKHOLESOFHAMADAN.pdf (дата обращения 20.12.2020).
24. **Khanlari G., Heidari M., Momeni A.A., Ahmadi M., Taleb Beydokhti A.** The effect of groundwater over-exploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, Western Iran // *Quarterly Journ. of Engineering Geology & Hydrogeology*. — 2012. — N 45 (4). — P. 447–456.

Поступила в редакцию 23.06.2019

После доработки 12.10.2020

Принята к публикации 25.03.2021