

В. И. Шмуратко, д-р.геол. наук., профессор,
Е. А. Черкез, д-р геол.-мин. наук, профессор,
Т. В. Козлова, канд. геол.-мин. наук, доцент
Одесский национальный университет,
кафедра инженерной геологии и гидрогеологии
ул. Дворянская, 2, Одесса-82, 65082, Украина

ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД И ЛОКАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ Г. ОДЕССЫ

На основе теоретических разработок авторов и статистической обработки данных непрерывных ежемесячных наблюдений за уровнем грунтовых вод на территории Одессы (по более чем 140 скважинам на протяжении более 30 лет) показано, что такой важный параметр, как сейсмическая интенсивность, не является константой, как это обычно считается, а сложным образом изменяется во времени и в пространстве вслед за изменением напряженно-деформированного состояния массива пород и уровня грунтовых вод. Зная закон многолетних вариаций уровня грунтовых вод, можно прогнозировать периоды максимальной сейсмической опасности для территории города в случае высокомагнитудных землетрясений в зоне Вранча. Полученный результат, вероятнее всего, приложим не только к территории Одессы, а имеет более универсальный характер.

Ключевые слова: изменчивость уровня грунтовых вод, сейсмическая интенсивность

Введение

Прогноз места и оценка интенсивности землетрясений на поверхности Земли являются одной из важнейших задач при определении условий строительства в сейсмически опасных регионах. Многочисленные наблюдения показали, что на сейсмическую интенсивность (СИ) конкретных территорий большое влияние оказывают местные инженерно-геологические условия. Уточнение СИ территории можно выполнять как на основе качественных показателей, характеризующих инженерно-геологические условия [3], так и по данным специальных инструментальных наблюдений [1]. Новый материал позволяет расширить *теоретические представления* в инженерной геологии и указывает на *практическую значимость* статьи. В этой связи тема статьи является *актуальной*.

Большинство инженерно-геологических факторов, от которых зависит СИ территории, изменяется чрезвычайно медленно. Таковы, например, литологические особенности и состав горных пород, характер рельефа, наличие либо отсутствие тектонических нарушений, особенности их пространственного расположения и т. д. Все эти факторы изменяются чрезвычайно медленно, с точки зрения анализа сейсмической опасности. Очевидно, что при оценке СИ конкретных территорий перечисленные и некоторые дру-

гие медленно изменяющиеся факторы должны обязательно учитываться и обычно учитываются как некая “вековая” составляющая. Перечисленные процессы должны быть оценены, и каждая оценка есть *решение задачи* для достижения цели работы.

Вместе с тем известно, что существуют и быстро изменяющиеся природные и техногенные факторы. В контексте данной работы мы имеем в виду глубину залегания уровня грунтовых вод (УГВ) и изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород самых верхних слоёв земной коры на данной территории. В научной литературе и в существующих нормативных документах недостаточно внимания уделяется как раз тому обстоятельству, что эти факторы по частоте активизации соизмеримы с характерной повторяемостью землетрясений. На практике эти “быстрые” факторы учитываются, как правило, с помощью некоторых усредненных “многолетних” характеристик как при оценке возможного приращения СИ, так и при построении карт сейсмического микрорайонирования. Тем самым “быстрые” факторы, при оценке СИ, практически отождествляются с факторами “медленными”. Однако *a priori* очевидно, что роль быстро изменяющегося фактора может быть совершенно различной, в зависимости от того, в какой момент времени он воздействует на геологическую среду, испытывающую сейсмическое воздействие *квазипериодически*. Учет перечисленных факторов составляет *теоретическое и практическое значение* данной статьи.

Цель данной работы состоит в том, чтобы показать на примере территории Одессы, что учёт пространственно-временной изменчивости УГВ принципиально важен и практически вполне осуществим при оценке приращения сейсмической интенсивности.

Фактический материал и результаты исследований

Четвертичный водоносный горизонт на территории Одессы распространен в лёссовой толще, представленной переслаиванием погребённых почв и лёссовидных суглинков. Мониторинг грунтовых вод ведётся с 1970 г. и обеспечивается сетью наблюдательных скважин, контролируемых Управлением инженерной защиты территории г. Одессы. Одновременно наблюдается, как правило, около 150 скважин.

На территории Одессы хорошо выражен колебательный характер изменения УГВ. В большинстве скважин отчетливо проявляются годовая (сезонная) и межгодовая цикличность; последняя сопоставима с 11-летним ритмом солнечной активности. Кроме того, нередко выражен период колебаний, равный 2,7 года, характерный для орбитальных параметров Земли. Поэтому можно предположить, что динамика УГВ связана с вариациями скорости вращения Земли.

Изучение межгодовой динамики УГВ в наблюдательных гидрогеологических скважинах показывает, что скважины заметно различаются межгодовым режимом. Например, в пределах старой части города существуют скважины (рис. 1А), в которых практически отсутствует — как положи-

тельный, так и отрицательный — “вековой” тренд УГВ. Можно предположить, что УГВ в многолетнем режиме в местах расположения этих скважин достиг определенного динамического равновесия. Характерной особенностью динамики УГВ территории южной части города, интенсивное хозяйственное освоение которой началось лишь в начале 1960-х годов, является выраженный положительный “вековой” тренд (рис. 1В).

Характер внутригодовой и межгодовой изменчивости УГВ часто уникален, даже в скважинах, близко расположенных друг от друга. Во-первых, это может означать, что территория пространственно неоднородна, в том числе и по физико-механическим свойствам пород (в частности, по НДС массива пород), и что ее свойства существенно изменяются во времени. Во-вторых, это может говорить о большом количестве факторов, управляющих балансом грунтовых вод, и о том, что эти факторы действуют относительно независимо друг от друга на различных участках города.

Сопряжённый анализ геолого-структурных, геоморфологических, геодезических и гидрогеологических данных позволил обосновать наличие на территории Одессы закономерно расположенных зон повышенной проницаемости (ЗПП), создающих блоковую структуру геологической среды [2, 4]. Блоковая структура иерархична как по величине геоблоков, так и по масштабности ЗПП. Кроме того, она динамична и изменяет во времени свойства геосреды в широком диапазоне частот, что подтверждается всесторонним анализом динамики УГВ. Это обстоятельство позволило сформулировать модель структурно-тектонического дренажа (СТД) [4]: разночастотная система ЗПП на территории Одессы образует естественную постоянно действующую систему структурно-тектонических “дрен” — потенциальных каналов перетока грунтовых вод в нижележащие водоносные горизонты.

Геодинамически обусловленные изменения свойств ЗПП являются причиной закономерных многочастотных изменений НДС массива пород и, как следствие, столь же закономерных изменений режима перетока грунтовых вод в нижележащий понтический горизонт. Более того, есть основания считать, что “удельный вес” фактора СТД в межгодовую динамику УГВ является определяющим, по сравнению не только с режимом выпадения атмосферных осадков, но и с техногенными факторами.

В рамках рассматриваемой модели обоснована причинно-следственная зависимость режима СТД как минимум от таких астрономических и планетарных факторов, как скорость осевого вращения Земли, солнечная активность и гравитационное воздействие планет [4]. Некоторые астрономические факторы в масштабе от нескольких лет до нескольких десятилетий относительно несложно прогнозируются. Это обстоятельство даёт возможность долгосрочного прогнозирования на основе модели СТД не только УГВ, но и режима изменений НДС массива пород на различных участках территории Одессы.

Цифровая обработка данных 30-летних наблюдений выявила следующую важную закономерность [4, 5]: максимальное повышение УГВ в целом по территории Одессы происходит через 1–2 года после начала очередного

цикла солнечной активности. Такой характер динамики УГВ наблюдается уже на протяжении трех солнечных циклов (21-го, 22-го и 23-го). Начало следующего, 24-го, цикла солнечной активности следует, по-видимому, отнести к 2009–2010 годам (аномальное поведение Солнца после завершения 23-го цикла не позволяет пока более уверенно указать время начала 24-го цикла). Следовательно, если обнаруженная закономерность сохранится, то максимально высокое положение УГВ (в среднем по городу) можно ожидать в 2010–2014 годах.

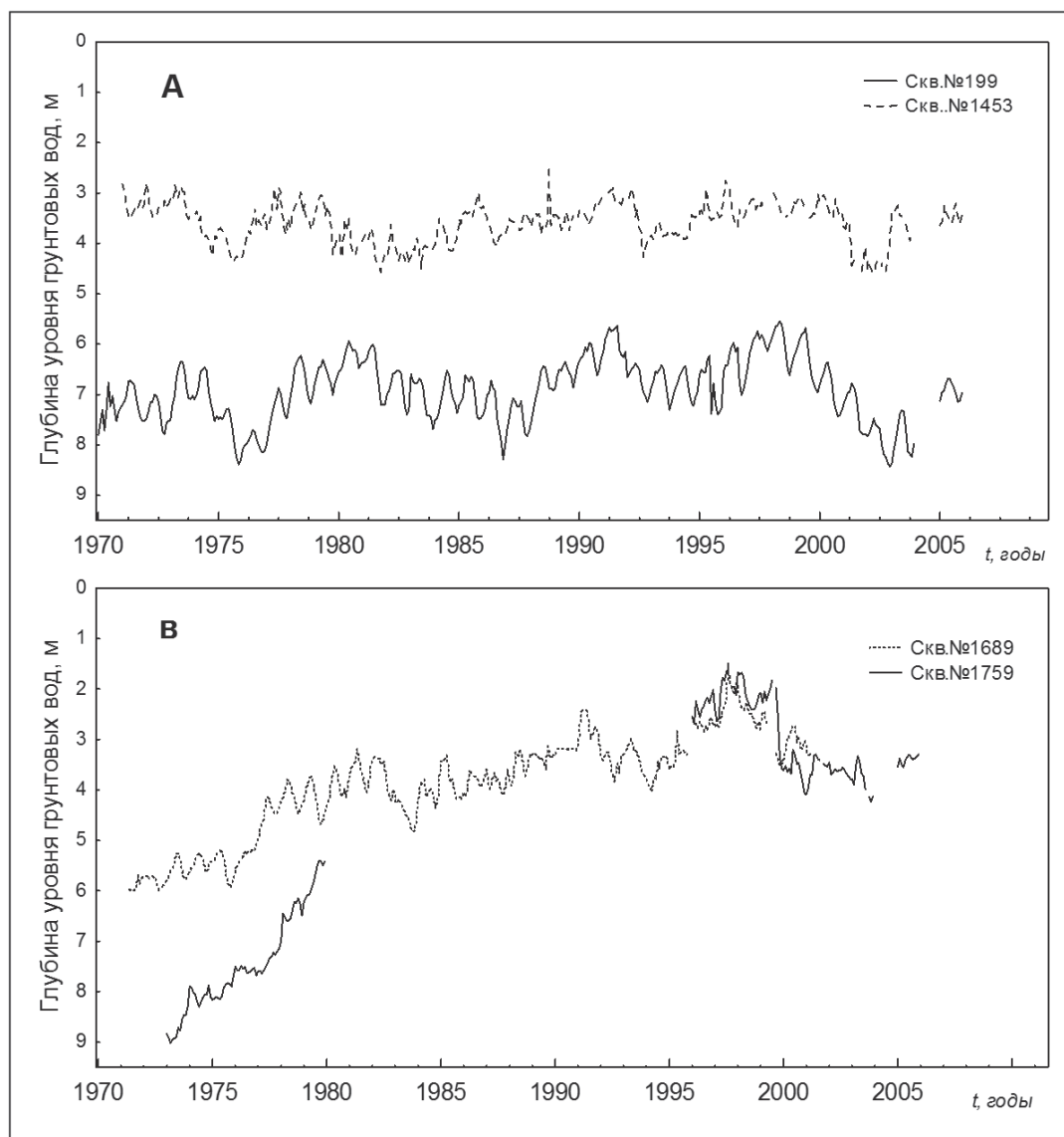


Рис. 1. Примеры межгодовой изменчивости УГВ по четырём наблюдательным скважинам, расположение которых показано на рис. 2

Известно, что повышение УГВ, при прочих равных условиях, в общем случае вызывает приращение СИ на данной территории. В соответствии с моделью СТД, приращение СИ, связанное с повышением УГВ, должно изменяться как во времени, так и в пространстве. Отсюда следует, что в контексте оценки СИ наиболее опасными для территории Одессы являют-

ся годы максимальной скорости роста солнечной активности в 11-летнем цикле, поскольку в это время достигает максимума УГВ, и, как результат, максимальным оказывается приращение СИ. Таким образом, для одесситов совершенно небезразлично, когда произойдет мощное землетрясение в опасной для Одессы зоне Вранча. При прочих равных условиях (например, при одинаковой магнитуде землетрясения), приращение СИ будет зависеть от того, с какой фазой 11-летнего цикла солнечной активности данное землетрясение совпадает. Наиболее неблагоприятные условия на территории Одессы возникают во время восходящих ветвей циклов солнечной активности (когда быстро увеличивается количество пятен на Солнце); это происходит обычно через 1–3 года после начала очередного солнечного цикла. Менее опасны землетрясения зоны Вранча (той же магнитуды), совпадающие с нисходящей ветвью солнечного цикла или с минимумом солнечной активности. С учетом сказанного, для одесситов было бы лучше, если бы в 2010–2014 годах в зоне Вранча не происходили высокомагнитудные землетрясения.

На рис. 2 показана карта гидроизогипс, которая иллюстрирует интегральное изменение УГВ на территории города за 40 лет (1962–2002 гг.). Карта позволяет выделить три типа участков: (а) значительного повышения УГВ (и соответствующего увеличения СИ), (б) относительно небольшого повышения УГВ и (в) понижения УГВ (уменьшения СИ). Разумеется, при интерпретации карты следует учитывать сказанное выше о том, что для УГВ города характерно не только вековое повышение, но и разночастотные колебания. Поэтому “разностные” карты, подобные показанной на рисунке, важно строить для таких интервалов времени, которые кратны какому-либо характерному периоду изменения УГВ. С этой точки зрения, представленная карта не соответствует указанным кондициям, т. к. 1962 г. совпадает с нижней частью *ниспадающей* ветви 18-го солнечного цикла, а 2002 г. — почти с *максимумом* солнечной активности 23-го цикла. Однако, эта карта интересна и важна тем, что охватывает наиболее продолжительный интервал *непрерывных* наблюдений за УГВ на территории Одессы и позволяет оценить вековую тенденцию изменения УГВ и локальной СИ, на фоне которой происходят более высокочастотные изменения.

Выводы

Результаты исследований открывают перспективы долгосрочного прогноза сейсмической интенсивности для территории Одессы на основе изучения динамики уровня грунтовых вод.

Для регионального и локального долгосрочного прогноза сейсмической интенсивности необходимо знать не только геотектонический режим сейсмически опасных соседних регионов, но и законы многолетнего режима уровня грунтовых вод данной территории. А поскольку этот фактор не является константой, то и такой важный параметр, как сейсмическая интенсивность, также оказывается величиной переменной. Она изменяется вслед за изменением уровня грунтовых вод, который зависит, в свою

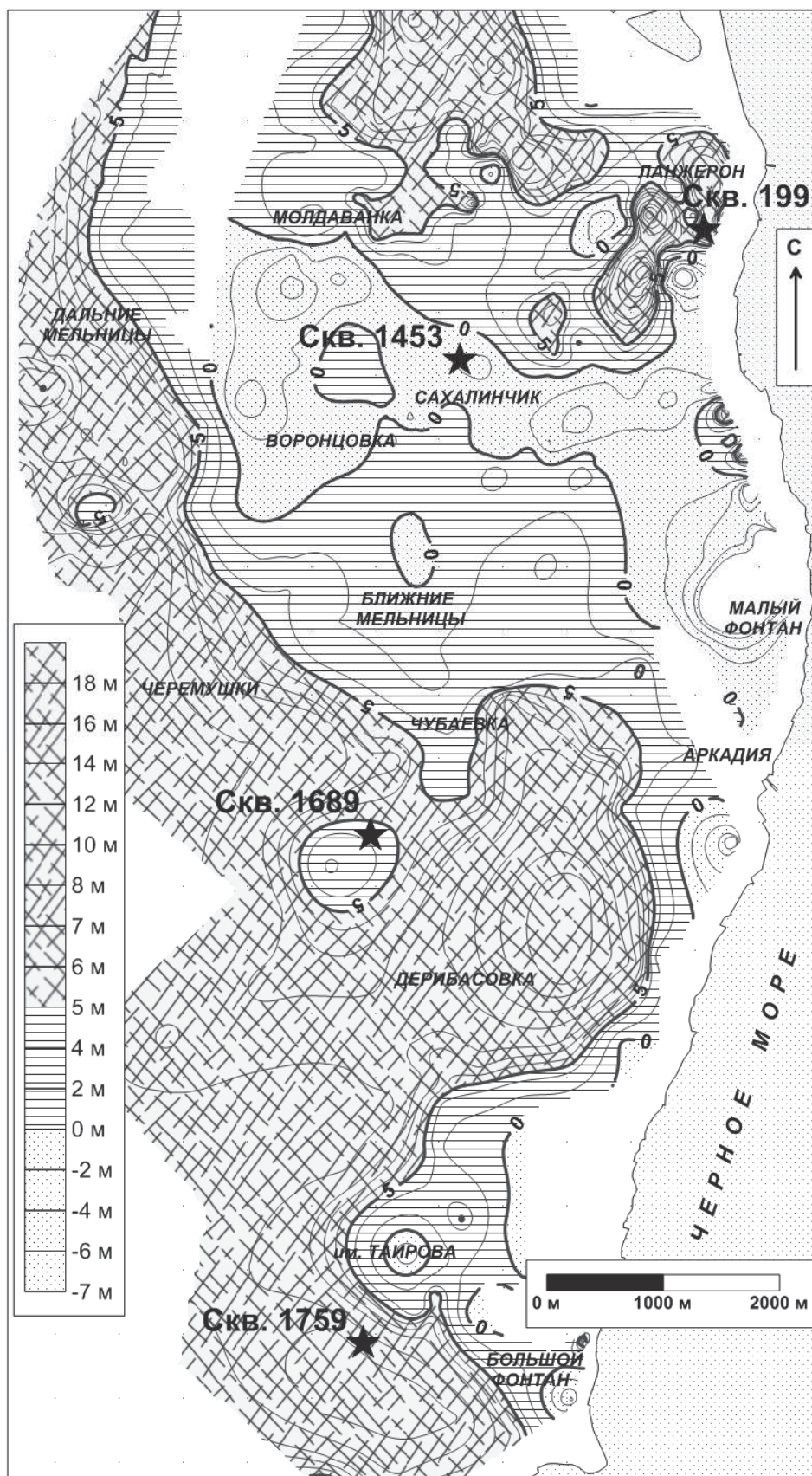


Рис. 2. Изменение уровня грунтовых вод за период с 1962 по 2002 гг. на территории Одессы

очередь, от внутри- и межгодового режима изменения напряжённо-деформированного состояния массива пород. Важно подчеркнуть, что вариации всех этих переменных происходят *одновременно* в широком диапазоне частот, что неизбежно создаёт нелинейные эффекты, а значит, и усложняет разработку адекватной прогнозной модели. Тем не менее, уже признание того факта, что сейсмическая интенсивность территории — это параметр, изменяющийся в широком диапазоне как по частоте, так и по амплитуде, само по себе является важным шагом на пути создания успешных методов прогнозирования эколого-геологической обстановки в том или ином временном масштабе и для того или иного интервала времени.

Очевидно, что разработка методов прогноза на такой основе весьма актуальна не только применительно к территории Одессы, но и к другим регионам, где ключевую роль играют рассмотренные нами характеристики геологической среды, которые управляются не только специфическими региональными факторами, но и общими для всех геосистем факторами — планетарными и астрономическими.

Литература

1. ДБН В.1.1-12-2006 / Будівництво у сейсмічних районах України. — Київ, 2006.
2. Зелинский И. П., Козлова Т. В., Черкез Е. А., Шмуратко В. И. Инженерные сооружения как инструмент изучения тектонической дискретности и активности геологической среды // Механика грунтов и фундаментостроение: Труды 3-й Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению. — Том 1. — Одесса, 1997. — С. 53–56.
3. Фесенко О. В. Сейсмічні умови Одеського регіону, інженерно-геологічні та геолого-геоморфологічні основи сейсмічного мікрорайонування м. Одеси // Вісник ОНУ. — Географ. та геол. науки. — 2001. — Т. 6. — Вип. 9. — С. 132–141.
4. Шмуратко В. И. Гравитационно-резонансный экзотектогенез. — Одесса: Астропринт, 2001. — 321 с.
5. Шмуратко В. И. Особливості внутрішньорічної динаміки ґрунтових вод Одеси // Вісник ОдНУ. Географ. та геол. науки. — 2001. — Т. 6. — Вип. 9. — С. 165–170.

В. І. Шмуратко, Є. А. Черкез, Т. В. Козлова

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра інженерної геології і гідрогеології,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна

МІНЛИВІСТЬ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД І ЛОКАЛЬНА СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА ТЕРИТОРІЇ М. ОДЕСИ

Резюме

На основі теоретичних розробок авторів і статистичної обробки даних непереривчастих щомісячних спостережень за рівнем ґрунтових вод на території Одеси (по більш ніж 140 свердловинам впродовж більше 30 років) показано, що такий важливий параметр, як сейсмічна інтенсивність, не є константою, як це зазвичай вважається, а складним чином змінюється в часі і в просторі услід за зміною напружено-деформованого стану масиву порід і рівня ґрунтових вод. Знаючи закон багаторічних варіацій рівня ґрунтових вод, можна прогнозувати періоди максимальної сейсмічної небезпеки для території міста у разі високомагнітудних землетрусів в зоні Вранча. Отриманий результат, найімовірніше, прикладений не тільки до території Одеси, а має більш універсальний характер.

Ключові слова: мінливість рівня ґрунтових вод, сейсмічна інтенсивність.

V. I. Shmouratko, E. A. Cherkez, T. V. Kozlova

Odessa National University,
Department Engineering Geology & Hydrogeology,
Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65026, Ukraine

VARIABILITY OF THE GROUNDWATER LEVEL AND THE LOCAL SEISMIC HAZARD ON THE TERRITORY OF ODESSA

Summary

The authors' theoretical elaboration and statistical processing of continuous monthly observations of the groundwater level in Odessa (on 140+ wells for over 30 years) showed that such an important parameter as the seismic intensity is not constant, as commonly assumed, but varies in time and space in a complicated way, following the change of stress-strain state of rock masses and groundwater levels. As we know the law of many years groundwater variations, it is possible to forecast the peak of seismic hazard for the city in case of high-magnitude earthquakes in the Vrancea area. The result is likely to be applied wider than on the territory of Odessa; it is rather more universal.

Key words: groundwater variations, seismic intensity.