

УДК 556.3.01

Д. В. Мелконян, канд. физ.-мат. наук, доцент
Е. А. Черкез, доктор геол.-мин. наук, профессор
Е. О. Смирнова, студент магистратуры
Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина
dmelkon@gmail.com, eacherkez@gmail.com, lena1smirnova@gmail.com

ФАКТОРЫ И ДИНАМИКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРОД ОСТРОВА ЗМЕИНЫЙ

В статье приведены результаты исследований динамики поведения водопроводимости напорного водоносного горизонта в девонских отложениях острова Змеиный. На основе кросс-спектрального анализа временных рядов установлена корреляция между изменениями водопроводимости и вариациями уровня моря, среднего расстояния Земля-Луна, а также скорости осевого вращения Земли. Установлено, что в пределах низких частот водопроводимость связана с указанными факторами по линейному закону, в высокочастотной области вариации корреляций имеют неустойчивый характер.

Ключевые слова: водоносный горизонт, водопроводимость, кросс-спектральный анализ, остров Змеиный

ВВЕДЕНИЕ

Гидрогеодинамический отклик подземных вод, возникающий под действием метеорологических, планетарных, техногенных и других факторов, относится к известным, однако недостаточно изученным явлениям.

Фундаментальные исследования последних лет [1, 4, 5, 9, 17, 19, 20] показали, что подземные воды являются индикатором изменения внешних нагрузок: атмосферного давления, лунно-солнечного притяжения и др. На формирование отклика уровня воды на изменение указанных факторов в водовмещающих породах существенное влияние оказывают параметры, характеризующие упругие, фильтрационные и другие свойства данных пород. Существует большое количество работ [1, 4, 5, 6, 7, 9, 16, 17, 18, 19, 20], исследующих отклик уровня воды на барометрическое и приливное воздействие, для оценки фильтрационных, упругих параметров водоносного горизонта, напряженно-деформированного состояния водовмещающих пород и т.д. Однако, при этом определяют некоторые усредненные значения данных параметров, которые формируются под совместным влиянием различных факторов: метеорологических, планетарных, техногенных и других. Фактически, в указанных выше работах не учитывается отдельный вклад (вес) того или иного фактора в формирование этих параметров.

В связи с этим изучение изменчивости фильтрационных свойств водовмещающих пород, в частности водопроницаемости, под влиянием отдельных факторов: уровня моря, планетарных и т. д. является *актуальным*.

В вариациях водопроницаемости (Т), уровня воды и других факторов проявляются свойства подземных вод принимать и передавать сигналы об изменениях напряжённо-деформированного состояния водовмещающих пород под влиянием внешних и внутриземных факторов. Жидкие и земные приливы являются постоянно действующими природными сигналами, изменяющими напряженно-деформированное состояние водовмещающих пород, следовательно, и их проницаемость, и фильтрационные свойства, и, в частности, водопроницаемость.

Целью исследования является изучение изменчивости водопроницаемости водоносного горизонта в отложениях девонской системы о. Змеиный под влиянием различных факторов: уровня моря, расстояния Земля-Луна, осевого вращения Земли.

Остров Змеиный расположен на северо-западном шельфе Черного моря, в пределах Одесской области Украины (в 40 км к юго-востоку от Килийского устья р. Дунай). Площадь острова составляет около 0,3 км², максимальная абсолютная отметка равна 38 м.

В геологическом строении острова Змеиный принимают участие палеозойские отложения, включая силур и девон, а также кайнозойские образования [10, 14]. Горные породы представлены мощной флишеподобной толщей, состоящей из пластов конглобрекчий и тонких прослоев песчаников, конгломератов, аргиллитов и алевролитов [12]. Для пород характерно формирование различных по форме и размерам пустот и трещин, имеющих тектоническую и литогенетическую природу.

По результатам гидрокаротажных исследований скважин ДГЭ «Днепргеофизика» установлены интервалы толщ водовмещающих пород, а именно: 38,0-54,6 м; 57,6-74,0 м; 80,8-109,4 м. В пределах верхнего интервала, представленного толщей конгломератов, существуют два водоносных подгоризонта, разделенных породами пониженной трещиноватости – относительно водоупорным слоем [13, 15]. Статический уровень подземных вод в скважинах (рис. 1) устанавливается на глубинах 32,0-36,9 м, т.е. на отметках, близких к уровню моря. Сопоставление глубин интервалов водовмещающих пород с величинами статических уровней показывает, что верхний подгоризонт является напорным. Вдоль берегового обрыва наблюдаются периодические выходы подземных вод в виде небольших источников (рис. 1).

Объектом исследования является водопроницаемость водоносного горизонта в отложениях девонской системы, которые представлены грубообломочными отложениями на кварцевом цементе – конгломератами, конглобрекчиями, валунно-галечными образованиями, а также песчаниками, гравилитами с прослойками аргиллитов.

Питание водоносного горизонта осуществляется, главным образом, за счет конденсации влаги, возникающей при перепаде дневной и ночной температур, и атмосферных осадков, проникающих с поверхности в трещиноватые горные породы (инфильтрация и инфлюация), а также водообмена с нижележащими водоносными горизонтами и морскими водами [15].

Основные факторы формирования режима подземных вод острова Змеиный выявлены в работе [15]. Там же установлено, что на формирование естественного гидродинамического режима подземных вод оказывают влияние метеорологические и геодинамические факторы.

Предмет исследования – изменчивость водопродовимости напорного водоносного горизонта под влиянием различных факторов.

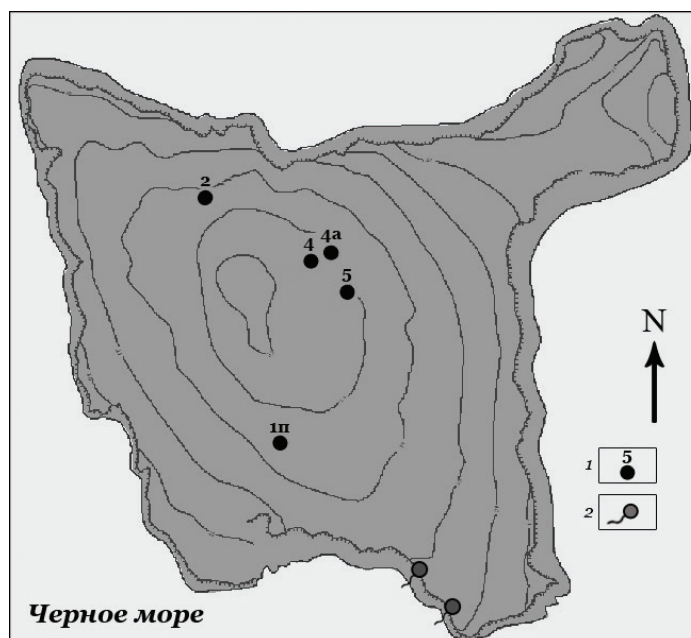


Рис.1. Схема расположения скважин на о. Змеиный. 1 – скважина и ее номер; 2 – выявленные выходы подземных вод [15]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наблюдения (мониторинг) за динамическими (уровень, давление) и физико-химическими (температура, минерализация) параметрами подземных вод на острове проводились ДГЭ «Днепргеофизика» с некоторыми перерывами с 2003 г. в скважинах № 2 (эксплуатационная) и № 4 (наблюдательная) и с 2013 г. Одесским национальным университетом имени И.И. Мечникова в скважине № 5 (рис. 1). Использовались автономные регистраторы данных (датчики)

Mini – Diver фирмы Schlumberger с диапазоном измерения уровня до 10 метров (DI501) и до 50 метров (DI505). Точность измерений первого составляет $\pm 0,25$ см, а второго $\pm 1,0$ см, при разрешающей способности 0,1 см. Диапазон рабочих температур $0^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ при точности $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ и разрешающей способности $0,01^{\circ}\text{C}$. Для определения минерализации использовался CTD – Diver с диапазоном измерения уровня воды до 30 метров (DI263) и электропроводимости от 0 до 80 мкСм/см при точности 10 мкСм/см.

Использованный массив данных включает 3-х летний временной ряд с 2005 по 2008 гг., когда датчики контроля были установлены в эксплуатационной и наблюдательной скважинах. Параметры регистрировались каждые 20 мин (72 замера в сутки). За этот период наблюдений изучены режим и данные опытных откачек из эксплуатируемой скважины № 2. Откачки длились в среднем 5-7 часов, иногда более короткий период (2-3 часа) с перерывами в несколько дней, а в летний период воду откачивали практически ежедневно. Снижение уровня подземных вод в период наиболее длительных откачек достигало 5-7 м при среднем дебите $1,0 \text{ м}^3/\text{час}$ и рекомендованном водоотборе до 5 м^3 . Проанализированы кривые (в количестве 270) снижения-восстановления уровней подземных вод. Водопроницаемость вычислялась по результатам обработки данных каждой откачки методом временного прослеживания (метод Тейса-Джейкоба [2]) по кривой восстановления уровня (рис. 2).

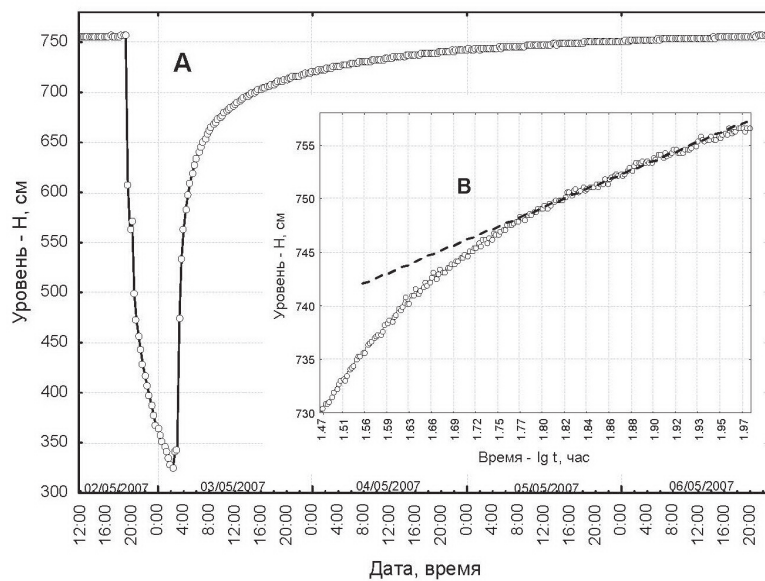


Рис. 2. Изменения уровня подземных вод (высота столба воды над датчиком) в эксплуатационной скважине № 2 за период с 02.05.2007 г. по 06.08.2007 г.

А – откачка – восстановление уровня; В – линейная аппроксимация фрагмента кривой восстановления уровня для периода квазистационарного режима

На рис. 3 представлены графики наблюдений за вариациями уровня моря (за период 01.2005-04.2008 гг.), среднего расстояния от Земли до Луны, флуктуациями угловой скорости вращения Земли и график изменчивости нормированной (при делении на среднее многолетнее значение) водопроницаемости за указанный период времени.

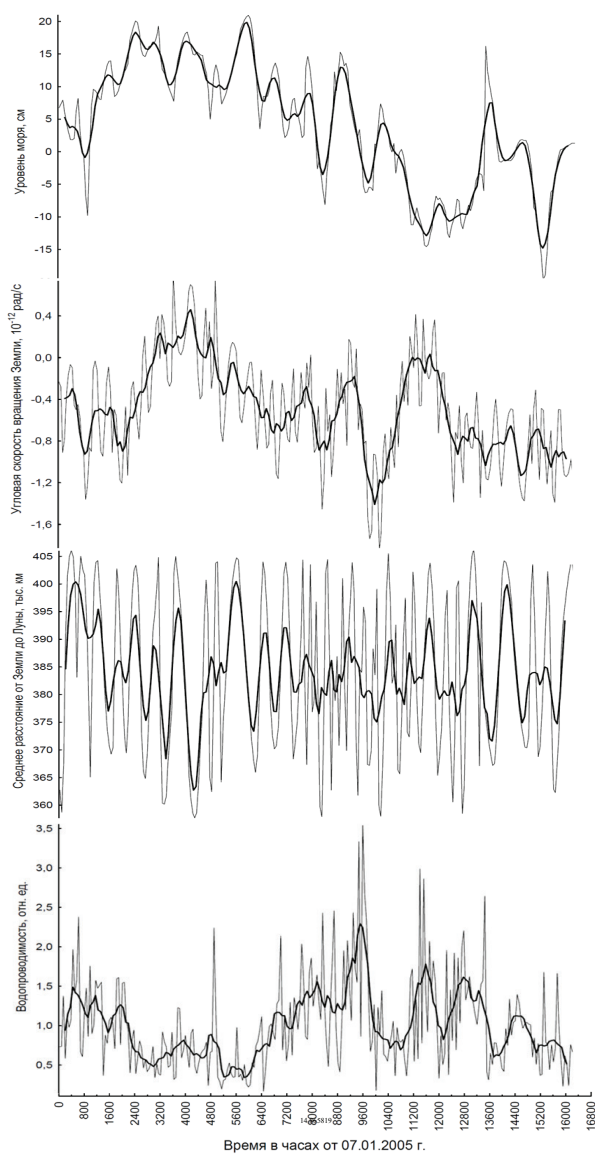


Рис. 3. Среднечасовые нормированные значения изменчивости водопроницаемости (T) (за период 07.01.2005 г. – 21.04.2008 г.) в сопоставлении с изменениями уровня моря, отклонения угловой скорости вращения Земли от стандартной и среднего расстояния от Земли до Луны. Жирные линии в скользящем временном окне длиной 48 часов

Для построения графиков временных рядов факторов, воздействующих на водопроницаемость, каждому значению (T) сопоставили среднюю величину фактора, начиная с момента повышения уровня воды в скважине до полного восстановления статического уровня.

Методом кросс-спектрального анализа часовых вариаций водопроницаемости и среднего расстояния Земля-Луна, водопроницаемости и угловой скорости вращения Земли, водопроницаемости и уровня моря получили величины, характеризующие связь между изменениями (T) и вариациями факторов, а именно: величины когерентности, амплитудной передаточной функции от вариаций факторов к изменениям водопроницаемости и разности фаз в зависимости от периода.

Наличие длительных рядов наблюдений позволяет статистически значимо оценить амплитудные частотные передаточные функции и функции когерентности от уровня моря и других указанных на рис. 3 факторов к вариациям водопроницаемости.

Оценку передаточных функций и функций когерентности производили классическим непараметрическим методом, основанным на преобразовании Фурье «входных» (факторы, влияющие на водопроницаемость) и «выходных» (изменчивость водопроницаемости) сигналов, на вычислении их кросс-спектральной функции и спектра мощности «входа», отношения кросс-спектра к спектру мощности, а также отношения квадрата кросс-спектра к произведению спектров мощностей «входа» и «выхода» [3, 8, 11].

Отметим, что, в целом, передаточную функцию можно рассматривать как аналог коэффициента регрессии, а когерентность – как аналог квадрата коэффициента корреляции [11].

Перед кросс-спектральным анализом исходные ряды осредненных оценок были подвергнуты предварительной статистической обработке и приведены к стационарному виду, а именно: было проведено экспоненциальное сглаживание ($a=0,2$); удаление тренда; взятие одной разности с лагом 1. Оценку кросс-плотности произвели в окне Хэмминга ширины 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Сопоставление функций квадрата модуля спектра когерентности (частотно-зависимого квадрата коэффициента корреляции) и амплитудной частотной передаточной функции (частотно-зависимого коэффициента регрессии) от вариаций среднего расстояния Земля-Луна; угловой скорости вращения Земли; уровня моря к изменениям водопроницаемости в диапазоне часовых периодов приведено на рис. 4.

В связи со сложным характером графиков на рис. 4 спектр частот условно разделен на три части: низкочастотную (в пределах периодов ≥ 133 ч.), средне-частотную (38-133 ч.) и высокочастотную (2-38 ч.).

В пределах периодов 38-133 ч. (среднечастотная область) когерентность вариации расстояния Земля-Луна (рис. 4а), скорости вращения Земли (рис. 4г)

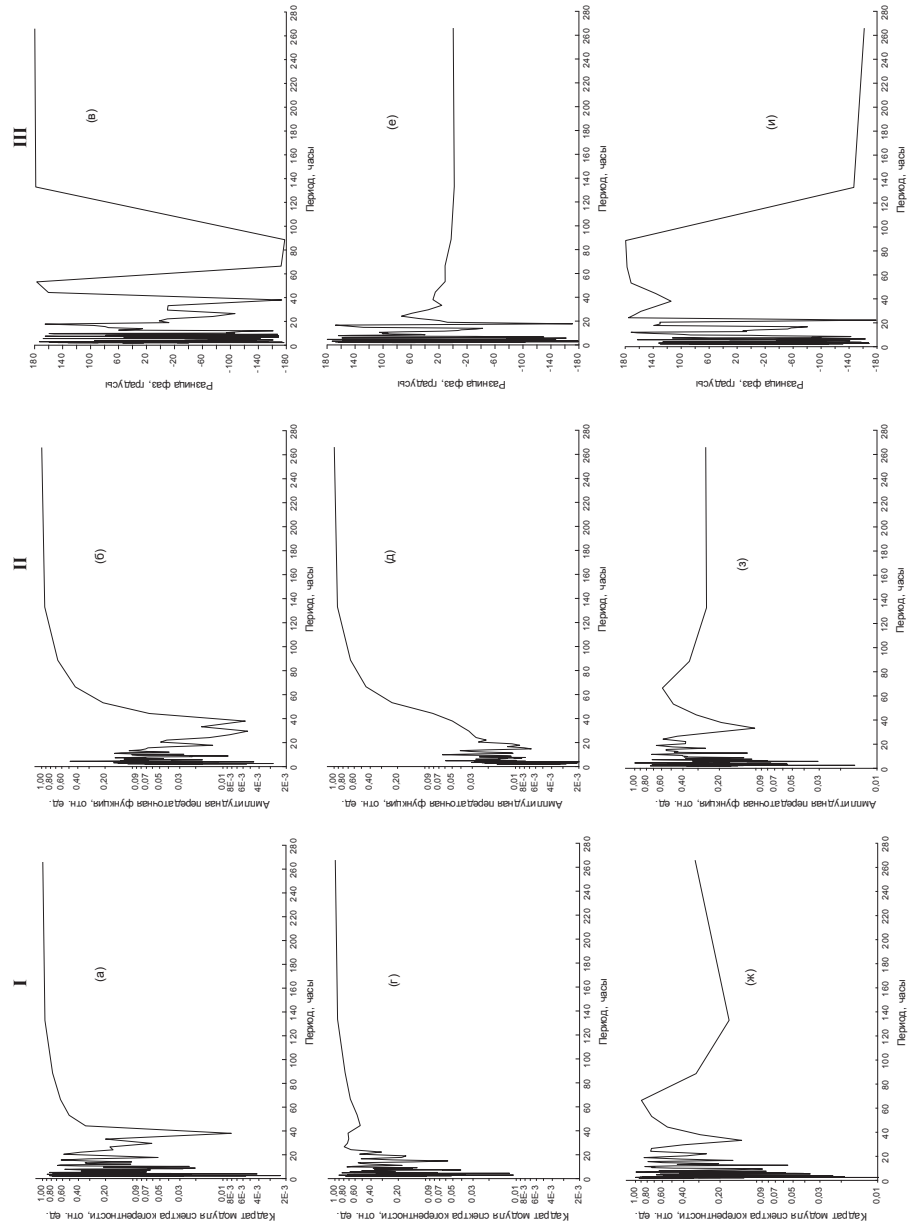


Рис. 4. Графики оценок передаточных функций (I), спектров когерентности (II) и разности фаз (III) между вариациями: (а, б, в) – среднего расстояния от Земли до Луны и (Г); (г, д, е) – угловой скорости вращения Земли и (Т); (ж, з, и) – уровня моря и (Т)

и водопроницаемости, а также частотные передаточные функции (рис. 4б, 4д) увеличиваются, достигают максимального значения 1 (отн. ед.) на периоде 133 ч. и остаются постоянными в низкочастотной области (на периодах от 5,5 до 11 суток). Это свидетельствует о наличии высокой линейной связи между рассматриваемыми факторами и водопроницаемостью на этих периодах.

В пределах этих же периодов (т.е. в области средних и низких частот) когерентность вариации уровня моря (рис. 4ж) и водопроницаемости, а также частотная передаточная функция (рис. 4з) имеют иной характер: высокие значения когерентности принимает на периодах 67 ч., затем плавно уменьшается в этой же среднечастотной области и возрастает в низкочастотной области. Кроме того, из рис. 4з видно, что величина передаточной функции относительно мала (0,26), и как в случае на рис. 4б, 4д, постоянна на периодах ≥ 133 ч.

В области высоких частот (на периодах 2-38 ч.) для соотношения (Т) со всеми факторами, в целом, наблюдается увеличение и резкий спад когерентности и частотной передаточной функции, что, возможно, обусловлено ослаблением отклика (Т) на влияющие на нее факторы на этих периодах, а также наличием шумовых вариаций во временных рядах, понижающих устойчивость оцениваемой величины когерентности.

Таким образом, в низкочастотной области, начиная от 5,5 суток, имеет место линейная связь между водопроницаемостью (деформацией водовмещающих пород) и вариациями уровня моря, расстояния Земля-Луна, скорости вращения Земли. В высокочастотной области, где когерентность почти близка к нулю, ослабление отклика водопроницаемости на указанные нагрузки, возможно, связано с геолого-структурными особенностями горных пород острова Змеиный [12, 13] и фильтрационной неоднородностью водовмещающих пород в связи с их трещиноватостью.

Для установления направления связи (положительной или отрицательной) между исследуемыми характеристиками были проанализированы графики спектров разности фаз между водопроницаемостью и воздействующими на нее факторами (рис. 4в, 4е, 4и).

Разность фаз между вариациями (Т) и расстоянием Земля-Луна составляет $\pm 178^\circ \pm 2^\circ$ в диапазоне периодов ≥ 133 часов. Это указывает на отрицательную связь, причем высокой степени, о чем свидетельствуют величины функции когерентности вариации водопроницаемости и расстояния Земля-Луна.

Таким образом, в диапазоне периодов ≥ 133 ч. с увеличением расстояния Земля-Луна величина водопроницаемости уменьшается, и наоборот, с уменьшением – растет. Это объясняется тем, что при уменьшении указанного расстояния, т.е. при твердотельном приливе имеет место деформация растяжения, водовмещающие породы временно становятся более трещиноватыми и пористыми, что приводит к возрастанию фильтрационно-емкостных свойств, в том числе к увеличению водопроницаемости. При увеличении расстояния Земля-Луна происходит деформация сжатия, что приводит к уменьшению фильтрационных свойств пород, в том числе водопроницаемости.

В то же время на рис. 4е, где изображен график разности фаз между скоростью вращения Земли и (Т), видно, что на больших периодах (≥ 133 ч.) разность фаз составляет $0^\circ \pm 2^\circ$, что свидетельствует о наличии положительной коррелированности вариации между скоростью вращения Земли и водопроницаемостью. Это означает, что на периодах ≥ 133 ч. при ускоренном движении Земли водопроницаемость растет, и наоборот, уменьшение скорости вращения Земли сопровождается уменьшением (Т). Это объясняется тем, что при ускоренном движении Земли временно развиваются деформации растяжения, объем пласта увеличивается, при этом с увеличением трещинной пористости пласта увеличивается трещинная проницаемость и водопроницаемость. При замедлении вращения Земли объем пласта уменьшается, что приводит к уменьшению пористости, снижению трещинной проницаемости и ухудшению фильтрационных свойств водовмещающих пород, в том числе водопроницаемости.

Разность фаз между вариациями уровня моря и вариациями водопроницаемости, (рис. 3и), составляет $\pm 170^\circ \pm 10^\circ$, т.е. на периодах ≥ 133 ч. водопроницаемость находится в противофазе с вариациями уровня моря. С понижением уровня морских вод водопроницаемость растет, подъему уровня вод соответствует уменьшение (Т).

Вариации уровня моря могут быть вызваны различными факторами, и как показано в [15], здесь большой вклад может внести барическое поле. Повышение давления массы воздуха на поверхность морских вод приводит к снижению уровня морских вод и росту давления на водовмещающий пласт, в результате чего водопроницаемость уменьшается. Понижению давления соответствует подъем уровня морских вод, снижение давления на пласт и увеличение водопроницаемости.

Таким образом, в пределах периодов 133 часа и более водопроницаемость и влияющие на нее факторы коррелированы; вариации водопроницаемости являются зависимыми от временного хода уровня моря, среднего расстояния Земля-Луна, угловой скорости вращения Земли. В этом диапазоне в изменениях водопроницаемости могут проявляться вариации, соответствующие изменениям напряженно-деформированного состояния водоносного пласта при геодинамической активности геологической среды.

ВЫВОДЫ

На основании исследования временных рядов изменения водопроницаемости и его связи с вариациями уровня моря, среднего расстояния Земля-Луна, угловой скорости вращения Земли (за период 01.2005-04.2008 гг.) предполагается наличие корреляции между водопроницаемостью и указанными факторами на периодах ≥ 133 часов.

На основе кросс-спектрального анализа временных рядов (с помощью частотных передаточных функций, спектров когерентности и разности фаз) выявлена линейная связь между вариациями водопроницаемости и изменениями уровня моря, скорости вращения Земли, среднего расстояния от Земли до

Луны. При этом высокая степень линейной связанности наблюдается между вариациями водопроницаемости и расстояния Земля-Луна (отрицательная связь), водопроницаемости и скорости вращения земли (положительная связь). Обратная линейная связь (относительно невысокая по сравнению с предыдущими факторами) наблюдается между вариациями водопроницаемости и уровня моря.

По изменению величин передаточной функции выделен высокочастотный диапазон (на периодах от 2 до 38 часов), на котором вариации водопроницаемости под влиянием рассмотренных факторов имеют неустойчивый характер. Это может быть обусловлено присутствием шумовых вариаций во временных рядах, что связано с фильтрационной неоднородностью водовмещающих пород из-за наличия трещин. В этом диапазоне оценка деформации водовмещающего пласта затруднена.

Перспективным представляется сопоставление полученных результатов с вариациями (в том числе косейсмическими) уровня воды в скважине, расположенной за пределами радиуса влияния эксплуатационной скважины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Багмет А. Л.* Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине «Обнинск» [Текст] / А. Л. Багмет, М. И. Багмет, В. Л. Барабанов, А. О. Гриневский, И. Г. Киссин, В. А. Малугин, Т. А. Руковишникова, И. В. Савин // *Физика Земли*. – 1989. – № 11. – С. 84-95.
2. *Боревский Б. В.* Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек [Текст] / Б. В. Боревский, Б. Г. Самсонов, Л. С. Язвин. – Москва: Недра, 1973. – 304 с.
3. *Бриллинджер Д. Р.* Временные ряды. Обработка данных и теория [Текст] / Д. Р. Бриллинджер. – Москва: Мир, 1980. – 536 с.
4. *Вартанян Г. С.* Гидрогеодинамическая реакция водоносного горизонта на изменение его напряженного состояния [Текст] / Г. С. Вартанян, В. И. Башмаков, В. О. Волейшо, В. Н. Прупис // *Сов. геология*. – 1987. – № 7. – С. 110-115.
5. *Волейшо В. О.* Закономерности формирования гидродинамического режима подземной гидросферы под воздействием региональных внешних факторов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.07 / В.О. Волейшо. – Москва, 2006. – 50 с.
6. *Копылова Г. Н.* Оценка поропругих параметров резервуаров подземных вод (по данным равномерных наблюдений на скважине ЮЗ-5 и Е-1, Камчатка) [Текст] / Г. Н. Копылова, С. В. Болдина // *Вулканология и сейсмология*. – 2006. – № 2. – С. 17-28.
7. *Любушин А. А.* Анализ отклика деформаций земной коры на вариации атмосферного давления [Текст] / А. А. Любушин, В. И. Осика, В. А. Пчелинцев, Л. С. Петухова // *Физика Земли*. – 1992. – № 2. – С. 81-89.
8. *Любушин А. А.* Статистический анализ отклика уровня подземных вод на вариации атмосферного давления [Текст] / А. А. Любушин, В. А. Малугин // *Физика Земли*. – 1993. – № 12. – С. 74-80.
9. *Мельхиор П.* Земные приливы / П. Мельхиор; пер. с англ. С. Н. Барсенкова, Ю. С. Доброхотова, Б. П. Перцева, под ред. Н. Н. Парийского. – Москва: Мир, 1968. – 482 с.
10. *Мороз С. А.* Геологическое строение Северного Причерноморья [Текст] / С. А. Мороз, И. Н. Сулимов, П. Ф. Гожик. – Киев: Наукова думка, 1995. – 181 с.
11. *Отнес Р.* Прикладной анализ временных рядов. Основные методы [Текст] / Р. Отнес, Л. Эноксон. – Москва: Мир, 1982. – 428 с.
12. *Сулимов И. Н.* Геология и прогноз нефтегазоносности района острова Змеиного в Черном море [Текст] / И. Н. Сулимов. – Одесса: Астропринт, 2001. – 108 с.
13. *Свистун В. К.* Некоторые результаты геофизических и гидрогеологических исследований о. Змеиный ДГЭ «Днепрогеофизика» [Текст] / В. К. Свистун, П. Г. Пигулевский // *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. – 2013. – Т. 18, № 17. – С. 108-115.
14. *Ткаченко Г. Г.* Геология острова Змеиного (Черное море) [Текст] / Г. Г. Ткаченко, Л. И. Пазюк, А. И. Самсонов // *Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР*. – 1969. – № 3. – С. 3-19.

15. Черкез Е. А. Факторы формирования режима подземных вод острова Змеиный [Текст] / Е. А. Черкез, В. И. Мединец, В. К. Свистун и др. // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. – 2014. – Т. 19, № 4. – С. 328-342.
16. Cuttillo P. A. Estimating Aquifer Properties from the Water Level Response to Earth Tides / P. A. Cuttillo, J. D. Bredehoeft // J. Ground Water. – 2011. – Vol. 49, No 4. – P. 600-610
17. Hsieh P. Determination of aquifer transmissivity from earth-tide analysis / P. Hsieh, J. Bredehoeft, J. Farr // Water Resour. Res. – 1987. – Vol. 23. – P. 1824-1832.
18. Loaiciga H. A. The Effect of the Earth's Rotation on Ground Water Motion / H. A. Loaiciga // J. Ground Water. – 2007. – Vol. 45, No 1. – P. 98-100.
19. Roeloffs E. A. Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes / E. A. Roeloffs // J. Geophys. Res. – 1998. – Vol. 103. – P. 869-889.
20. Rojstaczer S. The Influence of Formation Material Properties on the Response of Water Levels in Wells to Earth Tides and Atmospheric Loading / S. Rojstaczer, D.C. Agnew // J. Geophys. Res. – 1989. – Vol. 94. – P. 12403-12411.

REFERENCES

1. Bagmet, A. L., Bagmet, M. I., Barabanov, V. L., Grinevsky, A. O., Kissin, I. G., Malugin, V. A., Rukavishnikova, T. A., Savin, I. V. (1989), Issledovanie zemnoprilivnykh kolebaniy urovnya podzemnykh vod na skvazhine «Obninsk» [Investigation of earth tidal variations in the groundwater level in the «Obninsk» borehole], *Physics of the Earth*, No 11, pp. 84-95.
2. Borevskiy, B. V., Samsonov, B. G., Yazvin, L. S. (1973), *Metodika opredeleniya parametrov vodonosnykh gorizontov po dannyam otkachek* [Methods for aquifer parameters estimation from pumping test data], Moscow: Nedra, 304 p.
3. Brillinger, D.R. (1980), *Vremennyye ryady. Obrabotka dannykh i teoriya* [Time series. Data analysis and theory. Trans. from Eng. 1st ed.], Moscow: Mir, 536 p.
4. Vartanyan, G. S., Bashmakov, V. I., Voleysho, V. O., Prupis, V. N. (1987), Gidrogeodinamicheskaya reaktsiya vodonosnogo gorizonta na izmenenie ego napryazhennogo sostoyaniya [Hydrodynamic response of an aquifer to changes in its stress state], *Soviet geology*, No 7, pp. 110-115.
5. Voleysho, V. O. (1993), Zakonomernosti formirovaniya gidrodinamicheskogo rezhima podzemnoy gidrosfery pod vozdeystviem regionalnykh vneshnih faktorov [Regularities of underground hydrosphere hydrodynamic mode formation under the influence of regional external factors], *Extended abstract of Doctor's thesis*, Moscow: Lomonosov Moscow State University, 50 p.
6. Kopylova, G. N., Boldina, S. V. (2006), Otsenka porouprugih parametrov rezervuarov podzemnykh vod (po dannym urovnemernykh nablyudeniya na skvazhine YuZ-5 i E-1, Kamchatka) [Evaluation of pore elastic parameters for an aquifer: water level observations at the YuZ-5 well, Kamchatka], *Vulkanol. Seismol.*, No 2, pp. 17-28.
7. Lyubushin, A. A., Osika, V. I., Pchelintsev, V. A., Petukhova, L.S. (1992), Analiz otklika deformatsiy zemnoy kory na variatsii atmosfernogo davleniya [Analysis of the response of crustal deformation on the variation of atmospheric pressure], *Physics of the Earth*, No 2, pp. 81-89.
8. Lyubushin, A. A., Malugin, V. A. (1993), Statisticheskii analiz otklika urovnya podzemnykh vod na variatsii atmosfernogo davleniya [Statistical analysis of the response of groundwater levels to variations in atmospheric pressure], *Physics of the Earth*. No 12, pp. 74-80.
9. Melchior, P. (1968), *Zemnyye prilivy* [The earth tides. Trans. from Eng. 1st ed.], Moscow: Mir, 482 p.
10. Moroz, S. A., Sulimov, I. N., Gozhik, P. F. (1995), *Geologicheskoe stroenie Severnogo Prichornomor'ya* [The geological structure of the Northern Black Sea], Kiev: Naukova dumka, 181 p.
11. Otnes, R. K., Enochson, L. (1982), *Prikladnoy analiz vremennykh ryadov. Osnovnyye metody* [Applied time series analysis. Basic techniques. Trans. from Eng. 1st ed.], Moscow: Mir, 428 p.
12. Sulimov, I. N. (2001), *Geologiya i prognoz neftegazonosnosti rayona ostrova Zmeinogo v Chernom more* [Geology and prognosis of oil-and-gas content of Zmeinoy island region in the Black Sea], Odessa: Astroprint, 108 p.
13. Svistun, V. K., Pigulevskiy, P. G. (2013), Nekotorye rezultaty geofizicheskikh i gidrogeologicheskikh issledovaniy o Zmeinoy DGE «Dneprogeofizika» [Some results of geophysical and hydrogeological researches of Zmeinoy Island executed by the Dnepropetrovsk Geophysical Expedition «Dneprogeofizika»], *Bulletin of the Odessa national University. Geographical and geological science*, vol. 18, No. 17, pp. 108-115.
14. Tkachenko, G. G., Pazyuk, L.I., Samsonov, A.I. (1969), Geologiya ostrova Zmeinogo (Chernoe more) [Geology of an island Zmeinoy (Black Sea)], *Geology of the coast and the bottom of the Black and Azov seas within the USSR*, vol. 3, pp. 3-19.

15. Cherkez, E. A., Medinets, V. I., Svistun, V. K., Pigulevskiy, P.L., Bunyak, O.A., Bychenko, A.A. (2014), Faktoryi formirovaniya rezhima podzemnyih vod ostrova Zmeinyi [Zmeinyi island groundwater mode forming factors], *Bulletin of the Odessa national University. Geographical and geological science*, vol. 19, No 4, pp. 328-342.
16. Cutillo, P. A., Bredehoeft, J.D. (2011), Estimating Aquifer Properties from the Water Level Response to Earth Tides, *J. Ground Water*, vol. 49, No 4, pp. 600-610.
17. Hsieh P., Bredehoeft, J., Farr, J. (1987), Determination of aquifer transmissivity from earth-tide analysis, *Water Resour. Res.*, vol. 23, pp. 1824-1832.
18. Loaiciga, H. A. (2007), The effect of the Earth's rotation on ground water motion, *J. Ground Water*, vol. 45, No 1, pp. 98-100.
19. Roeloffs, E. A. (1998), Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes, *J. Geophys. Res.*, vol. 103, pp. 869-889.
20. Rojstaczer, S., Agnew, D. C. (1989), The Influence of formation material properties on the response of water levels in wells to Earth tides and atmospheric loading, *J. Geophys. Res.*, vol. 94, pp. 12403-12411.

Надійшла 27. 09. 2017

Д. В. Мелконян, канд. фіз.-мат. наук, доцент

Є. А. Черкез, доктор геол.-мін. наук, професор

О. О. Смірнова, студент магістратури

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,

кафедра інженерної геології і гідрогеології,

вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

dmelkon@gmail.com, eacherkez@gmail.com, lena1smirnova@gmail.com

ФАКТОРИ І ДИНАМІКА МІНЛИВОСТІ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД ОСТРОВА ЗМІЙНИЙ

Резюме

У статті наведено результати досліджень динаміки поведінки водопровідності напірного водоносного горизонту в девонських відкладах острова Зміїний. На основі крос-спектрального аналізу часових рядів встановлена кореляція між змінами водопровідності і варіаціями рівня моря, середньої відстані Земля-Місяць, а також швидкості осьового обертання Землі. Встановлено, що в межах низьких частот водопровідність пов'язана із зазначеними факторами за лінійним законом, у високочастотній зоні варіації кореляцій мають нестійкий характер.

Ключові слова: водоносний горизонт, водопровідність, крос-спектральний аналіз, острів Зміїний

D.V. Melkonyan

E. A. Cherkez

O.O. Smyrnova

Odessa I. I. Mechnikov National University,
Department of Engineering Geology and Hydrogeology,
Dvoryanskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine
dmelkon@gmail.com, eacherkez@gmail.com, lena1smirnova@gmail.com

FACTORS AND DYNAMICS OF VARIABILITY OF ZMEINYI ISLAND ROCKS FILTRATION PROPERTIES

Abstract

Problem Statement and Purpose. Transmissivity (T) is one of the most important parameters in determining aquifer productivity and generally estimated from pumping tests. This study (for the period 01.2005-04.2008) focuses on the transmissivity behavior dynamic for pressure fractured-rock aquifer in the Devonian deposits of the Zmeinyi island. It presents a temporal variations in transmissivity under the influence of sea level, distance Earth-Moon and axial rotation of the Earth.

Data & Methods. In the paper have studied the data from the experimental pumping test of the exploited well No 2, situated in the northwestern part of Zmeinyi island, having a depth of 50 m. Time-recovery plots (270 plots) were analyzed by using Theis Jacob method to obtain transmissivity.

The geologic setting in the study area is generally composed of the Paleozoic deposits, including the Silurian and Devonian, as well as the Cenozoic formations. The lithology of the aquifer varies widely and includes conglobreccia, sandstone, conglomerate, mudstone and siltstone. By results of well logging tests for water-bearing rocks the following thickness intervals were established: 38.0-54.6 m; 57.6-74.0 m; 80.8-109.4 m. Within the upper interval represented by conglomerates, there are two aquifer subhorizons, separated by weakly fractured rocks, that is by relatively waterproof layer. A comparison of water-bearing rocks depth intervals and static water levels shows that ground water in the upper subhorizon is under pressure.

Results. On the basis of a cross-spectral analysis of time series (using frequency transfer functions, coherence spectra and phase difference) correlations were revealed between variations of transmissivity and the following factors: sea level, mean Earth-Moon distance, Earth rotation speed. Variations in the correlation between transmissivity and factors influencing it allow assessing stress-strain state of water-bearing rocks. The results obtained from cross-spectral analysis showed that in the low frequency range, transmissivity is related to these factors linearly. In the range of periods from 5.5 to 11 days the Earth-Moon distance increases, the transmissivity value decreases and vice versa, with decreasing Earth-Moon distance (T) increases. For the same periods for accelerated motion of the Earth (T) increases, and vice versa, a decrease in Earth's rotation speed is accompanied by a decrease of (T). For the sea level, for periods from 5.5 to 11 days, transmissivity is in the antiphase with sea level variations. The increase in sea water level corresponds to a decrease of (T) and decrease of sea water level corresponds to increase of (T).

Keywords: aquifer, transmissivity, cross-spectral analysis, Zmeinyi island.