

РОТАЦИОННО-ФИЛЬТРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДОЛГОСРОЧНОГО РЕЖИМА УРОВНЯ КУЯЛЬНИЦКОГО ЛИМАНА

Черкез Е.А.¹, Шмуратко В.И.²

^{1,2} Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии, Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Шампанский пер. 2, Одесса, Украина 65058

¹ decanat.ggf@onu.edu.ua, ² svi55@yahoo.com

Факт изменчивости уровня и солености (плотности) воды лимана установлен давно, а первые данные были получены в 1860 г. на Корсунковском соляном промысле. Однако достоверные наблюдательные данные о водоеме относятся только к 1878 г., когда была прекращена практика накачивания морской воды (для выпаривания соли) в накопительный бассейн в южной части лимана [9]. Систематическое изучение изменений уровня и состава рапы лимана было начато гидрогеологической станцией в 1952 г., но касалось только южной части лимана, в основном, района расположения курорта «Куяльник». До этого времени методически необходимая комплексность наблюдений не всегда выполнялась, а сами наблюдения неоднократно прерывались по разным причинам.

Фактором, осложняющим анализ наблюдательных данных за период с конца XIX века по настоящее время, является также антропогенное воздействие (военные события разных лет, гидротехническое строительство на малых реках, негативное изменение условий поверхностного и руслового стока и др.).

В работе [9] М.П. Рудским опубликованы данные по изменению уровня и плотности воды Куяльницкого лимана и количеству выпавших в Одессе атмосферных осадков за период с 1878 по 1893 гг. Эти данные позволяют выявить следующее. Весной уровень лимана закономерно повышается (обычно на 20–40 см, а в отдельные годы — на 1,2–1,4 м). Это говорит о несомненной роли весеннего половодья. В то же время, в межгодовом масштабе корреляция между ходом уровня и количеством атмосферных осадков отсутствует. Что касается максимальной амплитуды межгодовых изменений уровня, то она достигала величины 2,23 м, причем такие изменения произошли всего лишь за полтора года (215 см в сентябре 1887 г. и 438 см в апреле 1889 г.).

Изменения уровня и плотности воды связаны между собой обратной зависимостью с коэффициентом корреляции – 0,92; это позволяет по периодам естественного выпадения соли определять годы наиболее низкого положения уровня лимана. По историческим и литературным данным, выпадение соли в лимане происходило в 1774, 1824, 1826, 1828, 1830–1831, 1835, 1847, 1850, 1853, 1866–1867, 1869–1871 гг. Эти данные указывают на то, что в естественных условиях, до включения в систему антропогенного фактора, понижение уровня воды в лимане периодически носило затяжной характер. Иногда такие периоды продолжались до 5–7 лет. Можно предположить, что в условиях антропогенного воздействия длительность периодов низкого положения уровня может в несколько раз увеличиваться.

Рассмотренные закономерности относятся к эпохе, когда антропогенный фактор практически отсутствовал. В XX веке естественная динамика уровня лимана усложнилась. Наиболее и полные наблюдательные данные имеются для послевоенного

времени. Анализ временных рядов уровня и солености для периода 1945–2010 гг. показывает следующее.

Максимальный уровень воды в лимане (538 см) зафиксирован в 1945–1947 гг. Затем в течение 15 лет уровень постепенно снижался и достиг минимума (20 см) в ноябре 1962 г., т.е. амплитуда изменений уровня превысила 5 м. На рассматриваемом интервале времени хорошо выражен отрицательный тренд уровня и положительный тренд солености воды лимана (коэффициент корреляции — 0,84). Сезонный максимум уровня приходится на весну, а минимум — на август-октябрь. Корреляция уровня воды в лимане с атмосферными осадками отсутствует. В настоящее время наблюдается тенденция к снижению уровня и увеличению минерализации воды лимана.

Важную роль в понимании законов, управляющих гидрологическим режимом лимана, играет изучение межгодовой цикличности вариаций его уровня и солености. В работе [7] на основе изучения временного ряда (1860–1995 гг.) солености воды лимана были сформулированы, в частности, следующие выводы. Временной ряд солености (следовательно, и уровня) имеет сложную периодическую структуру. Выделяются циклы с периодами 5–8, 10–11, 17–19 лет и 33 года. Кроме того, отчетливо выявляется три цикла продолжительностью около 60 лет. Первый такой цикл начался, видимо, в 1845–1850 гг., второй — около 1905 г., третий — около 1960 г. (экстраполируя эту закономерность, можно допустить, что начало следующего такого цикла придется на 2010–2020 гг.). Заслуживает внимания также примечательная «внутренняя структура» этих циклов. Для их начальных этапов характерен неустойчивый режим системы — быстрые (с периодом 5–8 лет) и высокоамплитудные колебания солености (уровня) как в одну, так и в другую сторону. Эти межгодовые колебания, постепенно уменьшаясь по амплитуде, к концу 60-летнего цикла почти полностью угасают, а затем резко возобновляются как высокоамплитудные в начале следующего цикла.

Что касается оценки роли тех или иных природных и антропогенных факторов, а также условий, управляющих динамикой уровня лимана, — эти вопросы неоднократно затрагивались во многих работах. В большинстве таких работ подчеркивалось, что определяющими в формировании гидрологического режима лимана являются испарение и приток с водосборной площади, а расходом р. Б. Куяльник и подземным питанием можно пренебречь [1, 2, 8, 14]. Фактически, для оценки водного баланса закрытых лиманов расчеты обычно упрощают, оставляя в качестве положительных статей баланса склоновый сток и атмосферные осадки, а в качестве отрицательных статей — испарение. В целом такой подход можно считать приемлемым, например, если учесть тот очевидный факт, что в последние десятилетия расход р. Б. Куяльник катастрофически уменьшился, и с июня 2010 г. его вода доходит до лимана только в виде подруслового стока.

Однако трудно согласиться с тем, что, учитывая только склоновый сток, атмосферные осадки и испарение, можно удовлетворительно объяснить все перечисленные выше закономерности многолетнего хода уровня (и солености) лимана. Во-первых, некоторые из гидрологических циклов лимана (например, 10–11, 17–19 и 60-летние) достаточно явно повторяют цикличность известных астрономических событий. А это значит, что следует искать соответствующие факторы в экосфере Земли, которые, с одной стороны, прямо либо опосредованно управляются астрономическими событиями данной периодичности, а с другой стороны, сами способны управлять гидрологическим режимом лимана. Такими факторами вряд ли являются атмосферные осадки, склоновый сток и испарение, т.к. они, по крайней мере,

не демонстрируют межгодовых циклов, продолжительность которых одновременно подобна цикличности гидрологического режима лимана и известных астрономических событий. Во-вторых, выполненное нами ранее сравнение временных рядов солености воды лимана и межгодовой скорости осевого вращения Земли [7] показало, что между ними есть корреляция. Это позволяет предположить, что, по меньшей мере, в масштабе 60-летних циклов названные характеристики изменяются синхронно: уровень Куяльницкого лимана понижается (а соленость воды возрастает), когда скорость осевого вращения Земли увеличивается.

Таким образом, учитывая сказанное, неизбежно приходим к выводу, что, наряду с традиционными факторами, модель динамики уровня лимана должна включать планетарные и астрономические управляющие факторы, во всяком случае, те, которые изменяются с указанной выше характерной периодичностью. В работе ^[7] в качестве рабочей гипотезы предложена модель изменения напряженно-деформированного состояния верхней части земной коры, потенциально способная объяснить возможную связь между астрономическими факторами и изменением уровня (солености) воды Куяльницкого лимана.

В ходе исследований, выполненных учеными кафедры инженерной геологии и гидрогеологии Одесского национального университета имени И.И. Мечникова [5, 6, 11 - 13 и др.], выяснилось, что важную роль в динамике целого ряда региональных геосистем играет фактор изменчивости напряженно-деформированного состояния верхней зоны земной коры, которое, в свою очередь, управляется скоростью осевого вращения Земли. В данной работе предлагается нетрадиционная модель, призванная объяснить сложный характер изменчивости уровня (и солености) воды Куяльницкого лимана. В отличие от предлагавшихся ранее гипотез, в данной модели внимание акцентируется на двух положениях. Во-первых, наряду с традиционно учитываемыми факторами гидрологического режима лимана (атмосферные осадки, склоновый сток, испарение) в систему включается геологическая среда, точнее изменчивость ее напряженно-деформированного состояния, обусловленная ротационным режимом планеты. Во-вторых, в качестве важных статей водного баланса лимана учитывается закономерно изменяющееся во времени питание за счет фильтрации морской воды через тело пересыпи и дно лимана, а также субаквальная разгрузка подземных вод.

Количественное обоснование предлагаемой ротационно-фильтрационной модели выполнено на основе цифровой обработки нескольких эквидистантных временных рядов (с шагом 1 месяц): уровня и солености воды Куяльницкого лимана, количества атмосферных осадков, уровня Черного моря, скорости осевого вращения Земли. Исследованные интервалы времени: 1878 – 1893 гг. и 1945 - 2010 гг.

Известно, что скорость осевого вращения Земли не остается постоянной, а характеризуется годовой и межгодовой изменчивостью. Режимом скорости вращения Земли, поскольку ее неравномерный характер создает дополнительные напряжения в верхней зоне литосферы, предопределяются изменения напряженно-деформированного состояния массивов пород и, соответственно, изменения гидравлической эффективности и фильтрационной проницаемости пород.

При изменении скорости вращения в верхней оболочке Земли возникает осесимметричное поле напряжений, которое имеет три зоны сжатия-растяжения, ограниченные широтами $\pm 35^\circ$. Короткопериодические изменения длительности суток на величину 0,3 мс приводят к изменениям напряжений на $\approx 2 \cdot 10^2$ Па [4]. Очевидно, что такие вариации напряженного состояния пород, будут приводить к изменениям

фильтрационной проницаемости пород: в границах широт Куяльницкого лимана увеличение скорости вращения Земли будет приводить к увеличению фильтрационной проницаемости пород, а уменьшение, соответственно, – к уменьшению.

В качестве основных предпосылок формирования подземного питания Куяльницкого лимана нами приняты: 1) разность уровней моря и лимана и 2) отклонение от стандарта (86400 с) продолжительности суток, т.е. изменение скорости осевого вращения Земли. Последнее приводит к пропорциональному изменению напряженного состояния пород и, соответственно, к изменению величин их гидравлической эффективности и фильтрационной проницаемости. Произведение перечисленных стандартизованных параметров по физическому смыслу соответствует общепринятой формуле определения расхода потока подземных вод [3], которая в нашем случае может быть названа ротационно-фильтрационной моделью формирования подземного питания.

Для проверки модели сопоставлялись измеренные величины уровня за периоды наблюдений 1878 - 1893 гг. и 1945 - 2010 гг. с полученными по моделям результатами расчетов для этих же временных интервалов. Сопоставление для периода 1878 - 1893 гг. свидетельствует о том, что расчетная модель хорошо воспроизводит динамику уровня воды в лимане (коэффициент корреляции 0,82) (рис.1 А). Для периода наблюдений 1945-2010 гг. (рис. 1 В) модель показывает менее надежный результат (коэффициент корреляции 0,41).

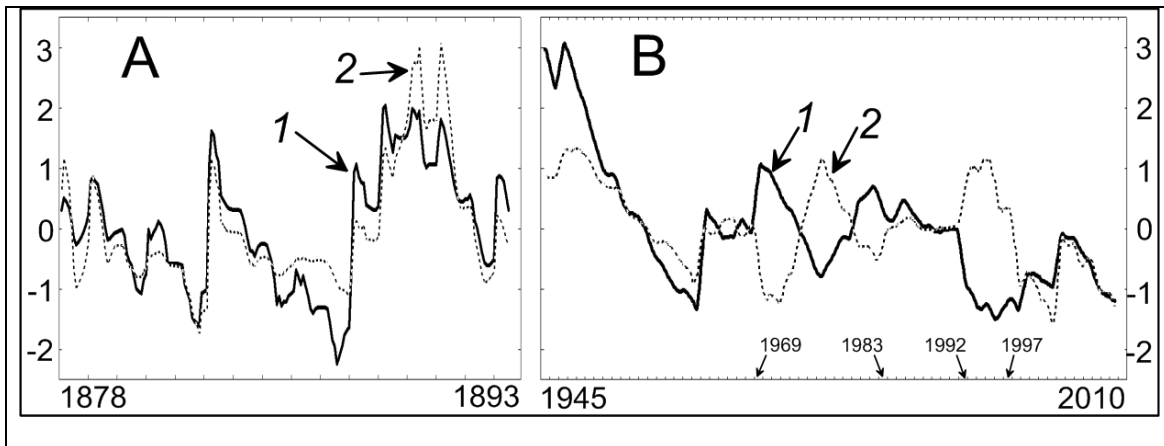


Рис. 1. Межгодовая динамика уровня воды в лимане (1) и подземного стока, полученного по ротационно-фильтрационной модели (2) за периоды 1878-1893 гг. (А) и 1945-2010 гг. (В). Все кривые стандартизированы.

Отметим, что для периода наблюдений 1945 - 2010 гг. (рис. 1 В) выделяются три временных интервала: первый (1945 - 1969 гг.), когда динамика уровня и расчетного подземного питания лимана носят синхронный характер; второй (1969 - 1997 гг.), когда динамика уровня и расчетного подземного питания находятся в ритмической противофазе; третий (1997 – 2010 гг.), когда обе характеристики вновь имеют синхронную динамику.

Выявленные для периода наблюдений 1945 - 2010 гг. особенности динамики выбранных параметров могут быть обусловлены двумя группами факторов.

Во-первых, в баланс подземного питания лимана входят не только приток со стороны моря и Хаджибейского лимана через аккумулятивное тело Куяльницко-

Хаджибейской пересыпи, но также и донная (субаквальная) разгрузка напорных вод верхнесарматского и мзотического горизонтов через днище и борта эрозионного вреза лимана. Район лимана имеет ярко выраженное блоковое строение. Поэтому перемещение блоков за счет вертикальных тектонических движений, а также изменение ротационно обусловленного напряженного состояния могут приводить к квазипериодическому снижению и увеличению гидравлической эффективности зон повышенной фильтрационной проницаемости. На это указывает очаговый характер распределения солёности вод лимана вдоль его бортов и по акватории [14].

Вторая причина – антропогенные изменения баланса склонового, речного и подземного стока. В последние 30 – 40 лет произошла сработка напоров верхнесарматского водоносного горизонта на 10 – 20 м, что не исключает потерь воды лимана через донные отложения на подпитывание расположенных ниже водоносных горизонтов в отдельные временные интервалы (периодически повторяющаяся на интервале 1969 – 1997 гг. противофаза динамики уровня и расчетного подземного питания лимана, рис. 1 В). Вместе с тем, по нашему мнению, обычно допускаемая роль антропогенного влияния на режим уровня лимана может оказаться значительно преувеличенной. Например, выпадение соли в Куяльницком лимане – экстремальное снижение уровня – происходило неоднократно не только в период, когда антропогенный фактор практически отсутствовал (1774, 1824, 1826, 1828, 1830, 1831, 1835, 1847, 1850, 1853, 1866, 1867, 1869-1871 гг.), но и в период возросшей антропогенной нагрузки (1887, 1901, 1903-1906, 1921-1922, 1962-1963, 1994-1998, 2009-2012 гг.).

Применение предложенной ротационно-фильтрационной модели и сопоставление результатов расчета по ней с режимом уровня лимана позволяет сделать следующие выводы:

1) при оценке водного баланса Куяльницкого лимана, — наряду с традиционно учитываемыми факторами формирования его гидрологического режима (атмосферные осадки, склоновый сток, испарение), — необходимо учитывать закономерно изменяющееся во времени питание за счет фильтрации морских вод через тело пересыпи и дно лимана, а также субаквальную разгрузку подземных вод или отток лиманных вод в нижележащие водоносные горизонты;

2) результаты моделирования показывают, что в питании и формировании уровня и солевого режимов Куяльницкого лимана, как водоема закрытого типа, значительную роль играет тело пересыпи. Пересыпь в системе «Куяльницкий лиман – Черное море» играет роль природного барьера, который, реагируя на закономерную изменчивость напряженно-деформированного состояния пород, естественным образом регулирует фильтрационное питание со стороны Черного моря;

3) в результате хозяйственного освоения долины лимана и зарегулированного стока р. Б. Куяльник существенно снизилось питание лимана, и поэтому неотложными и первоочередными мероприятиями по улучшению его экологического состояния должна быть ликвидация, по крайней мере, большинства существующих в настоящее время водоёмов, перехватывающих приток пресных вод в Куяльницкий лиман, что, несомненно, не только восстановит естественный поверхностный сток в лиман, но будет способствовать также и активизации подземного стока;

4) корректировка лиманной экосистемы с помощью мероприятий, направленных на антропогенное регулирование питания лимана (переброска воды из соседнего

Хаджибейского лимана, попуск черноморской воды), могут привести к трудно предсказуемым, и, — что наиболее вероятно, — к негативным побочным последствиям.

Литература

1. Адобовский В.В., Шихалеева Г.Н., Шурова Н.М. Современное состояние и экологические проблемы Куяльницкого лимана / Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны. Севастополь, 2002, вып.1(6).- С.71-81.
2. Геология шельфа Украины. Лиманы // Отв. Ред. Е.Ф.Шнюков. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 176 с.
3. Гидрогеология. Под. ред. В.М.Шестакова и М.С. Орлова. – М., Изд-во МГУ, 1984. - 317 с.
4. Довбнич М.М. Влияние вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов на напряженное состояние тектоносферы // Доповіді НАН України, №11, 2007, С.105-112.
5. Зелинский И.П., Черкез Е.А., Шмуратко В.И. Роль тектонической разблоченности в формировании инженерно-геологических и сейсмических процессов на территории Одессы // Зб. наук. праць НГА України. – Дніпропетровськ, 1999. – Т.1. №6. – С. 188-192.
6. Козлова Т.В., Черкез Е.А., Шмуратко В.И. Микроблоковая геодинамика на территории Одессы и скорость осевого вращения Земли. Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць / Державне підприємство «НДІБК» Міністерства регіонального розвитку України. Вип. 75: в 2-х кн.: Книга 1. - Київ, ДП НДІБК, 2011. С 271-276.
7. Колесникова А.А., Носырев И.В., Шмуратко В.И. Циклический характер изменчивости гидролого-гидрохимических параметров Куяльницкого лимана (Северное Причерноморье) // Доповіді НАН України, №8, 1997, С.123-128.
8. Розенгарт М.Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов // Изд. Наукова думка, Киев, 1974. – 225 с.
9. Рудской М.П. Изменения уровня лиманов // Записки Новороссийского общества естествоиспытателей. – Т. XX. – Вып. I. – Одесса. – 1895. – С. 13-23.
10. Рудской М.П. О происхождении лиманов Херсонской губернии // Записки Новороссийского общества естествоиспытателей. – Т. XX. – Вып. I. – Одесса. – 1895. – С. 1-12.
11. Шмуратко В.И. Межгодовые изменения уровня грунтовых вод на территории Одессы (по данным режимных наблюдений за период с 1972 по 2000 гг.) // Доповіді НАН України. - 2002. - № 10. - с. 123-127.
12. Шмуратко В.И., Черкез Е.А. Ротационная динамика и режим уровня смежных водоносных горизонтов на территории Одессы // Ресурсы подземных вод: Современные проблемы изучения и использования: Материалы межд. науч. конф. Москва, 13-14 мая 2010 г.: К 100-летию со дня рождения Бориса Ивановича Куделина. – М.: МАКС Пресс, 2010. С. 165 – 170.
13. Шмуратко В.И., Черкез Е.А., Буняк О.А. Гидродинамический режим подземных вод на территории Одессы и ротационная динамика / Комплексные проблемы гидрогеологии: тез. докл. науч. конф. – 27-28 октября 2011г. – СПб.: С.-Петербург. Ун-т, 2011. С. 199-201.
14. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К. и др. Особенности ионно-солевого состава воды Куяльницкого лимана // Вісник ОНУ. Т. 11. Вып 2, Химия, 2006. С 67-74.