

УДК 556.314

О.В. Щербак

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮГА УКРАИНЫ

Исследована динамика изменений макрокомпонентного состава и минерализации подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса на территории бассейна р. Днепр, в пределах Херсонской области. Выполнено пространственное моделирование распределения параметров химического состава подземных вод, расчет гипотетического солевого состава подземных вод и его пространственно-временное изменение, рассчитаны средние значения концентраций основных компонентов на разные периоды времени. Сделан вывод о современном развитии процессов засоления и метаморфизации химического состава подземных вод.

Введение

Южные регионы Украины известны своими богатыми рекреационными, земельными ресурсами. Но развитие аграрного сектора в условиях засушливого климата степной зоны было возможным благодаря проведению оросительных мелиораций. Платой за увеличение урожайности сельскохозяйственных культур стало ухудшение экологических условий на поливных землях. Прямые последствия такой деятельности – это изменение водно-солевого баланса почв зоны аэрации и грунтового водоносного горизонта: подтопление, заболачивание земель и их засоление. Ответной реакцией на нарушение равновесия в верхней части разреза является переформирование гидрогеологических условий межпластовых водоносных горизонтов зоны активного водообмена, в которых сосредоточены ресурсы питьевых подземных вод.

Имеет место ухудшение качества подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов, что обусловлено превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) по величине минерализации, общей жесткости, содержанию хлоридов, сульфатов, натрия, азотсодержащих ионов и некоторых микроэлементов [1]. Для территорий, которые и так испытывают дефицит водных ресурсов, такие процессы экологически небезопасны. Поэтому выявление общих тенденций временных изменений химического состава питьевых подземных вод в условиях нарушенного режима орошаемых территорий является актуальной задачей для изучения.

Целью исследования являлось изучение временных изменений макрокомпонентного состава питьевых подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса на территории бассейна реки Днепр в пределах Херсонской области (рисунок 1).

Исследование основывается на фондовых данных, которые хранятся в ГНПП «Геоинформ Украины». Автором собраны результаты химических анализов подземных вод по водозаборным скважинам верхнемиоценового водоносного комплекса на два временных периода:

1. 1965–1975 гг. – начало интенсивного освоения водоносного комплекса, бурение большого количества водозаборных скважин (материалы региональной оценки запасов подземных вод Причерноморского артезианского бассейна 1977 г.);

2. 2002–2010 гг. – современное состояние подземных вод (результаты обследования действующих водозаборных скважин в рамках выполнения работ по оценке состояния подземных вод (2005 г.), поисков и разведке питьевых подземных вод (2002–2010 гг.)).

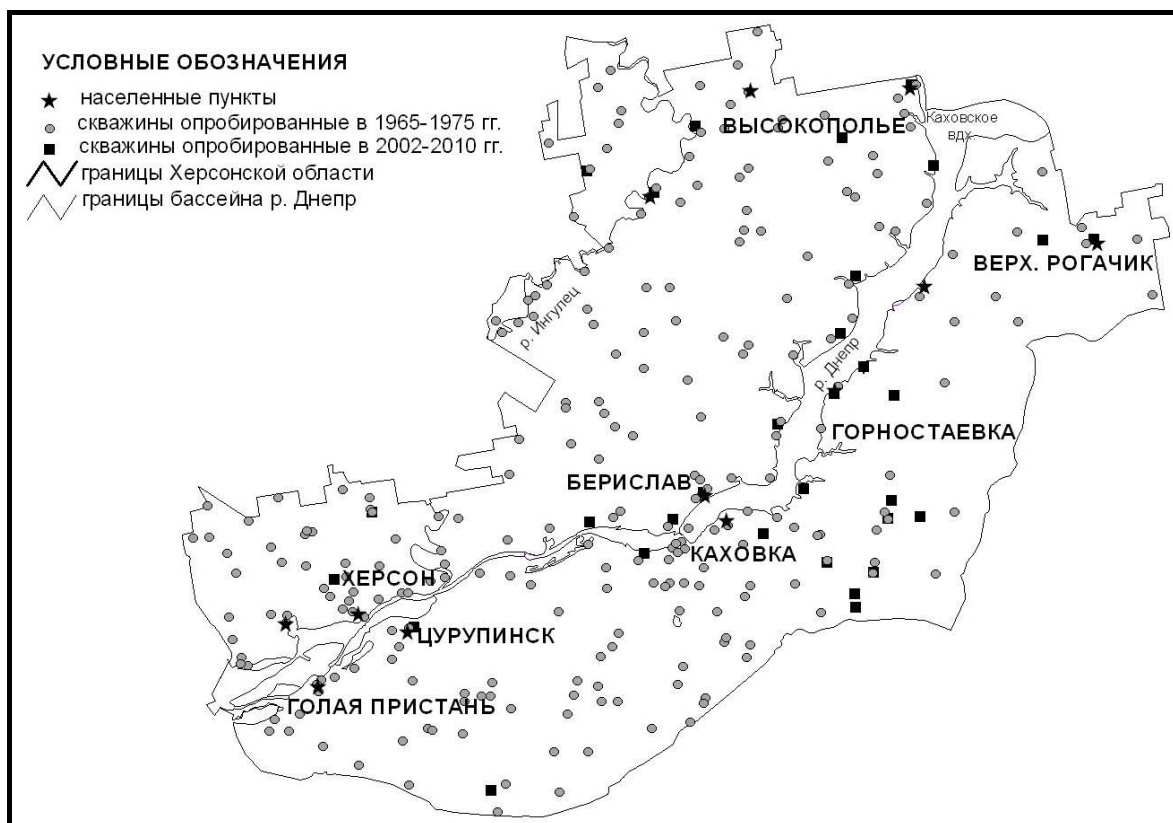


Рисунок 1 – Схематическая карта территории исследования

Для обработки данных использовались геоинформационный (пространственный анализ распределения компонентов химического состава подземных вод) и статистический (факторный, корреляционный, регрессионный анализы) методы исследования.

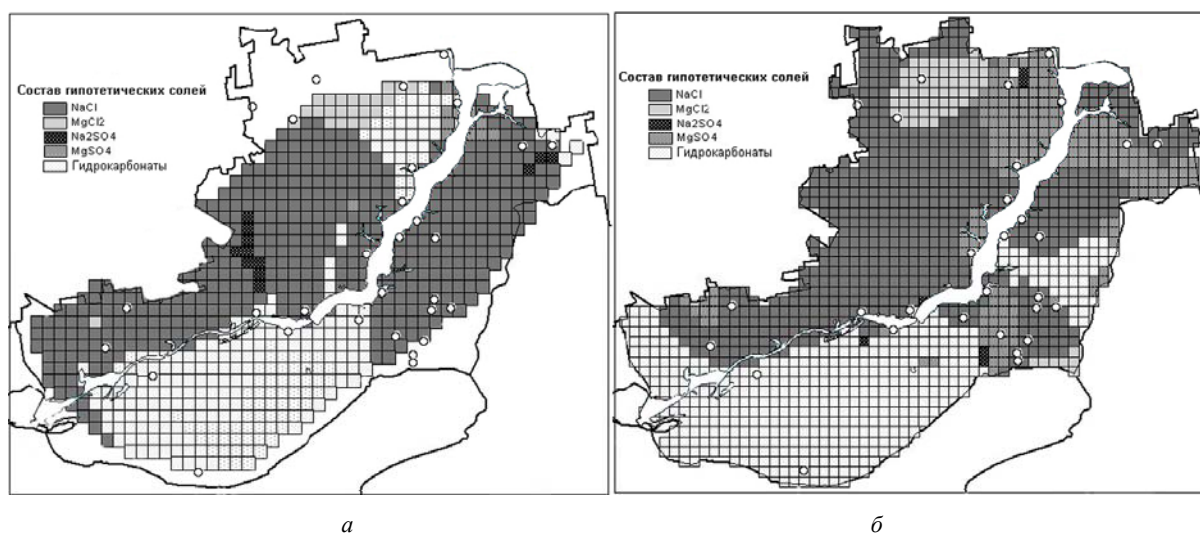
Результаты исследования и их обсуждение

Территория Херсонской области в основном находится в пределах Причерноморского артезианского бассейна и характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Водовмещающие и водоупорные отложения имеют невыдержанное распространение по площади и в разрезе, пестрый литологический состав, что привело к формированию различных гидрогеохимических типов подземных вод. Такая неоднородность химического состава подземных вод значительно затрудняет применение классических статистических методов. Поэтому область исследования необходимо было ограничить таким образом, чтобы система, которая изучается, стала более однородной. Автором предложено использовать районирование территории по бассейнам основных рек [2]. В данной статье изучалась территория центральной и восточной части Херсонской области, принадлежащая к бассейну р. Днепр.

Одним из основных источников питьевого водоснабжения в данном районе являются ресурсы подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса. Водоносный комплекс имеет региональное распространение не только в пределах речного бассейна, но и в целом по области. Водовмещающие породы представлены преимущественно известняками с прослоями мергелей и песков. Мощность и глубина их залегания возрастает в направлении с севера на юг, в сторону моря. Водоносный комплекс межпластового типа, выше по разрезу залегает постоянно действующий грунтовый водоносный горизонт, который сформировался в нарушенных гидрогеологических условиях в результате гидротехнического строительства (ввод в эксплуатацию Каховского водохранилища, 1956 г., строительство магистральных каналов) и оросительных поливов.

Верхнемиоценовый водоносный комплекс имеет сложный характер вертикальной гидрогеохимической зональности. Так, наиболее пресные по своему составу подземные воды распространяются преимущественно в средней части комплекса, которая и эксплуатируется водозаборными скважинами. В дальнейшем речь будет идти о химическом составе подземных вод не всего водоносного комплекса, а только эксплуатируемой его части.

Для изучения горизонтальной зональности эксплуатируемой части водоносного комплекса было выполнено математико-картографическое моделирование распространения основных гидрогеохимических показателей (минерализации, содержания Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) подземных вод на два временных периода. Для моделирования использовалась методика, разработанная автором совместно с А.П. Лобасовым на базе настольной геоинформационной системы (ГИС) ArcView GIS 3.2a, программного комплекса «Geomapping». Построение моделей осуществлялось методом сплайн-аппроксимации с применением итерационной техники автоаналога. На первой итерации строился сплайн-тренд искомой модели параметра. При построении модели на i -й итерации полученная модель на $(i - 1)$ -й итерации использовалась в качестве аналога, при условии более точного приближения модели к значениям параметра в исходных точках. Обычно для построения кондиционной модели достаточно 3-х – 4-х итераций. Описанная схема реализована в программном комплексе «Geomapping» [3]. На основе полученных цифровых моделей вычислены средние содержания показателей. Также построены схемы распределения основных гидрогеохимических типов подземных вод (рисунок 2). Гидрогеохимические типы отвечают составу основной гипотетической соли. Расчет гипотетического солевого состава подземных вод выполнен методом комбинирования основных ионов, выраженных в эквивалентной форме. Для этого использован метод Фрезениуса, основанный на относительной степени химической активности отдельных кислот и оснований [4].



а – по состоянию на 1965–1975 гг., б – по состоянию на 2002–2010 гг.

Рисунок 2 – Картограммы химического состава подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса

Для выявления временных тенденций изменения химического состава подземных вод выполнен статистический анализ выборок с входными данными и полученных с грид-файлов после аппроксимации. В результате проведенного исследования уста-

новлены закономерности в изменении химического состава подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса.

Проверка гипотезы о равенстве средних значений выборок двух временных периодов (с помощью непараметрического критерия Колмогорова-Смирнова) позволяет сделать вывод о том, что химический состав подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса во времени остается стабильным только по содержанию гидрокарбонат иона. Содержание остальных макрокомпонентов, а также минерализация изменяются.

По результатам факторного анализа, выполненного методом главных компонент с вращением варимакс для основных шести ионов состава подземных вод, выделено два наиболее информативных фактора. Главный фактор 1 вносит от 68% (для первого периода) до 70% (для второго периода) в суммарную дисперсию исследуемых выборок. Он объясняет изменчивость ионов Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , то есть имеет высокую нагрузку на соленость воды. Со временем факторные нагрузки ионов от фактора 1 увеличиваются, то есть состав воды становится более однородным и определяется главным образом влиянием фактора «солености». Фактор 2 является характерным, так как объясняет дисперсию только одного иона HCO_3^- , и практически не влияет на соленость воды. По мнению автора, фактор 2 связан с карбонатным равновесием, поступлением CO_2 .

Минерализация. Минерализация подземных вод изменяется в широких пределах от 0,1–0,3 до 5–6 г/дм³. Преобладают площади некондиционных для питьевого водоснабжения вод (минерализация более 1,0 (1,5) г/дм³), занимающие как правобережье, так и левобережья Днестра, где находятся массивы орошения. Ресурсы пресных подземных вод формируются в зонах, которые примыкают к областям питания подземных вод: прибрежная полоса долины реки Днестр, площадь распространения песчаных арен «Олешковских песков» (южная левобережная часть бассейна р. Днестр).

За исследуемый период времени среднее значение минерализации подземных вод (расчитанное по цифровым моделям) увеличилось с 1,03 до 1,38 г/дм³.

Регрессионные зависимости между величиной минерализации и компонентным составом воды за два периода времени описываются уравнениями:

$$\ln C = -0,99 + 0,4 \ln Cl + 0,16 \ln SO_4, R^2 = 0,83 \quad (1)$$

$$\ln C = -0,98 + 0,36 \ln SO_4 + 0,31 \ln Cl, R^2 = 0,96 \quad (2)$$

где C – величина минерализации, г/дм³; R – коэффициент детерминации; концентрации компонентов выражаются в мг-экв/дм³.

Полученные регрессионные зависимости объясняют вариацию минерализации воды в зависимости от концентрации в ней хлорид и сульфат ионов. Для первого временного периода (1) характерно, что минерализация главным образом зависит от концентрации хлора. На современном этапе (2) возрастает роль сульфатов в формировании минерализации подземных вод.

HCO_3^- . Гидрокарбонат ион имеет подчиненное значение в составе подземных вод района, поскольку преобладают воды с минерализацией больше 1 г/дм³. Среднее значение его содержания во времени остается относительно стабильным, изменяясь от 4,36 до 4,24 мг-экв/дм³ (рисунок 3). Гидрокарбонат ион встречается в виде таких гипотетических солей, как $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$. Они преобладают в составе пресных подземных вод в южной части бассейна р. Днестр, на площади распространения локальной области питания – «Олешковских песков».

Cl^- . Ион хлора доминирует в составе подземных вод района, его концентрация значительно увеличилась во времени от 6,6 до 13,2 мг-экв/дм³ (рисунок 3). Среди гипотетических солей подземных вод широко распространены $NaCl$, значительно меньше – $MgCl_2$. Соли хлоридов являются основными в минерализованных подземных водах большей части территории.

SO_4^{2-} . Концентрация сульфат иона в воде увеличивается во времени большими темпами от 4,1 до 12,1 мг-экв/дм³ (рисунок 3). Важно отметить, что концентрация сульфат иона возрастает по отношению к кальцию и превышает её. Это указывает на происходящие процессы метаморфизации химического состава подземных вод. В состав гипотетических солей сульфатов входят все основные катионы. Наиболее распространены в районе соли сульфата магния. В первый исследуемый период соли сульфатов практически не доминировали в составе подземных вод. Во втором – поле сульфатных вод сформировалось на севере района, в прибрежной полосе вдоль долины р. Днепр в зоне влияния Каховского водохранилища.

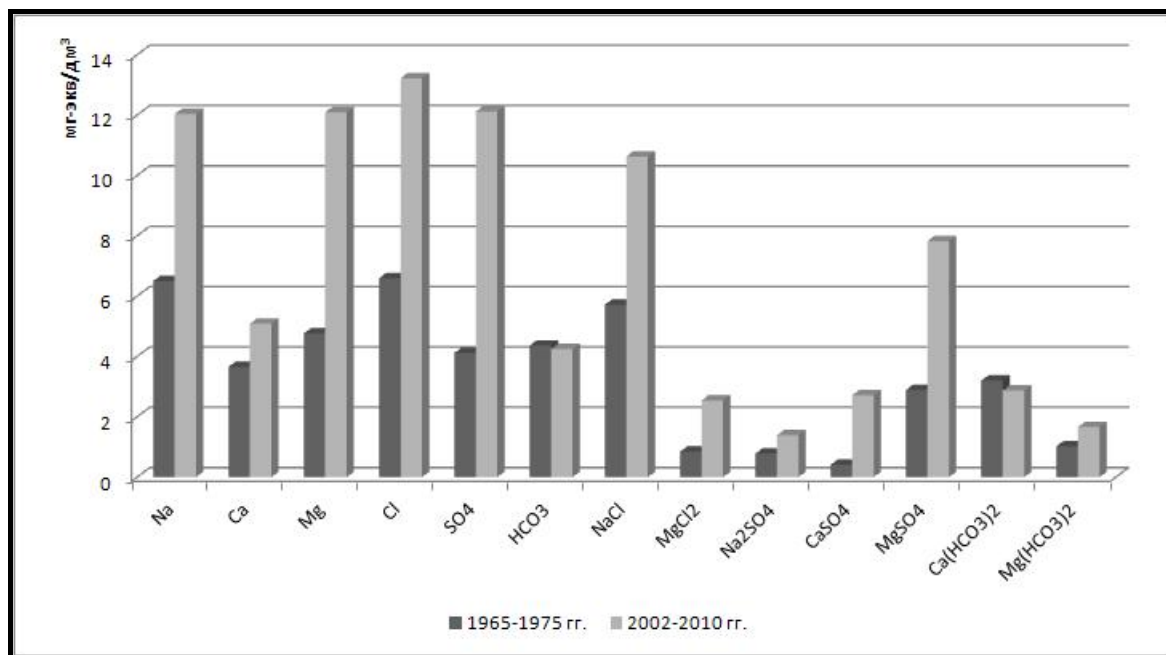


Рисунок 3 – Средние концентрации ионов и основных гипотетических солей в составе подземных вод верхнемиоценового водоносного комплекса

Na^+ . Ион натрия наиболее распространён в подземных водах. По своей природе он близок к иону хлора и преобладает в сильно минерализованных водах. Концентрация натрия в составе подземных вод территории исследований увеличилась в два раза – от 6,5 до 12 мг-экв/дм³. Коэффициент rNa/rCl во времени изменился от 1 до 0,9, то есть происходит метаморфизация химического состава подземных вод.

Mg^{2+} , Ca^{2+} . Ионы магния и кальция по общему количеству среди катионов уступали натрию в первом временном периоде. На сегодняшний день в химическом составе среди катионов наравне с натрием начинает доминировать магний. Средние значения кальция изменились от 3,65 до 5,9 мг-экв/дм³, магния – от 4,8 до 12,1 мг-экв/дм³ (рисунок 3). Соотношение rCa/rMg меньше единицы и уменьшается во времени от 0,76 до 0,49. Это свидетельствует о том, что воды минерализованные, и происходит увеличение их минерализации во времени [5].

Заключение

Изучение особенностей изменения химического состава питьевых подземных вод на территории бассейна реки Днепр, в пределах Херсонской области, позволяет сделать вывод о том, что развивается процесс засоления подземных вод межпластовых водоносных горизонтов. Данный процесс развивается, несмотря на сокращение объемов водоотбора из подземных источников. В макрокомпонентном составе подземных вод комплекса за исследуемый период (с 1965–1975 гг. по 2002–2010 гг.) выявлены следующие изменения: концентрации основных ионов увеличиваются во времени, за

исключением гидрокарбонат иона; развивается процесс метаморфизации химического состава подземных вод; сформировавшийся тип засоления: $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$, $\text{Na} \approx \text{Mg} > \text{Ca}$.

Выявленные закономерности могут быть использованы при планировании мероприятий по рациональному водопользованию на орошаемых территориях юга Украины, а также для оптимизации мониторинговых работ по состоянию подземных вод на изучаемой территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошляков, О.Є. Основні тенденції зміни якісного складу питних підземних вод Херсонщини / О.Є. Кошляков, О.В. Щербак // Сучасні проблеми геології : збірник наукових праць до 155-річчя з дня народження академіка Павла Аполлоновича Тутковського – К. : Фітоп, 2013. – С. 301–305.
2. Щербак, О.В. Подходы к региональной оценке изменений качества питьевых подземных вод / О.В. Щербак, А.Е. Кошляков // Мониторинг окружающей среды : сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сентября 2013 г. : в 2 ч. / Брест гос. ун-т имени А.С. Пушкина; редкол.: И.В. Абрамова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2013. – Ч. 1. – С. 156–158.
3. Гребенніков, С.Є. Моделювання будови осадових басейнів в середовищі ArcView / С.Є. Гребенніков, О.П. Лобасов // Мінеральні ресурси України. – 2003. – № 4. – С. 37–43.
4. Сулин, В.А. Воды нефтяных месторождений СССР / В.А. Сулин. – М.: НКТП, 1935. – 368 с.
5. Посохов, Е.В. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы) / Е.В. Посохов. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – 258 с.

O.V. Scherbak Regional Peculiarities of Changes in Chemical Composition of Drinking Groundwater in Irrigated Areas of Southern Ukraine

The dynamics of changes in the macrocomponents composition and salinity of groundwater of the upper Miocene aquifer complex in the Dniper River Basin, within Kherson region is investigated. Spatial modeling of the distribution in the chemical composition parameters of the groundwater, the calculation of the hypothetical salt composition of groundwater and its spatial-temporary variations, calculated average concentrations of major ions at different periods of time were performed. Conclusion about the current development of salinisation and metamorphism in the chemical composition of groundwater has been formulated.