

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 543.3

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД В ДЕЛЬТЕ РЕКИ МЕКОНГ

© 2025 г. М. В. Болгов², А. К. Кулик², Н. Ч. Хиеп¹, В. Т. М. Чау¹, Ч. Т. Л. Тху¹,
Р. Н. Балкушкин^{2,*}, А. А. Выприцкий², А. А. Васильченко²

¹Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, 3-я ул. 3/2, район 10, Хошимин, Вьетнам
²Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, пр. Университетский 97, Волгоград, 400062 Россия

*E-mail: balkushkin_r@vfanc.ru

Поступила в редакцию 02.09.2024 г.

После доработки 15.10.2024 г.

Принята в печать 20.02.2025 г.

Дельта реки Меконг — крупный сельскохозяйственный регион Вьетнама, обеспечивающий продовольственную безопасность и поддерживающий экспортный потенциал страны. Возможность эффективно ведения сельского хозяйства предполагает наличие точной информации о состоянии грунтовых вод и оценки как природных, так и антропогенных факторов, определяющих их химический состав. Цель исследования заключалась в изучении динамики химического состава грунтовых вод в дельте реки Меконг за сухой сезон 2022–2023 гг., в рамках которой в четырех провинциях из первого водоносного горизонта было отобрано 23 пробы воды в ноябре 2022 г. (начало сухого периода) и 23 пробы в марте–апреле 2023 г. (конец сухого периода). Образцы грунтовых вод были проанализированы на содержание основных ионов. По результатам исследований выявлено, что за сухой сезон 2022–2023 гг. грунтовые воды с 8 ключевых участков изменили гидрохимический тип: с I на II и IV, с II на IV, с III на II и IV, с IV на I (согласно диаграмме Пайпера). Наиболее существенное изменение химического состава произошло в пресных грунтовых водах. Смена гидрохимического типа может обуславливаться использованием оросительной воды различного состава, применением средств химической защиты растений и удобрений на сельскохозяйственных угодьях, динамикой интрузии морских вод, атмосферными осадками и сбросом сточных вод.

Ключевые слова: грунтовые воды, дельта Меконга, ионный состав воды, гидрохимические типы воды, интрузия морских вод

DOI: 10.31857/S0869780925020037 EDN: EPORXW

ВВЕДЕНИЕ

Дельта реки Меконг, занимающая около 12% от всей площади Социалистической Республики Вьетнам, — важный регион страны, который обеспечивает продовольственную безопасность и поддерживает экспортный потенциал [6]. Здесь располагается 53.5% посевных площадей риса с наиболее высокой средней урожайностью по стране (61.9 ц/га), с которых ежегодно собирается 23.5 млн т урожая. Значительная территория занята плантациями плодовых культур, с которых ежегодно получают около 50% всех фруктов. В пределах дельты Меконга находится более 70% площадей аквакультуры с общей годовой продуктивностью 3.7 млн т [15].

В настоящее время, в связи с экономическим развитием Вьетнама, регион сталкивается с проблемой обеспечения своей устойчивости. Реализация хозяйственных проектов зачастую подразумевает использование потенциала р. Меконг и прилегающих к нему территорий, что повышает вероятность возникновения неблагоприятных ситуаций, определяющихся сложным взаимодействием природных и социально-экономических факторов [6, 8].

Одна из основных задач на территории дельты р. Меконг — рациональное использование водных ресурсов в условиях сезонности климата и интрузии морской воды. Наряду с поверхностными водами, важную роль в осуществлении хозяйственной

деятельности играют грунтовые воды. Как правило, они залегают неглубоко и принимают активное участие в водном питании растений. Возможность эффективного ведения сельского хозяйства предполагает наличие точной информации о состоянии грунтовых вод и оценки как природных, так и антропогенных факторов, определяющих их химический состав.

Цель исследования — изучение динамики химического состава грунтовых вод в дельте р. Меконг за сухой сезон 2022–2023 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках исследований из первого водоносного горизонта ручным буром с помощью пробоотборника грунтовых вод было отобрано 23 пробы воды в ноябре 2022 г. (начало сухого периода) и 23 пробы в марте–апреле 2023 г. (конец сухого периода).

Образцы грунтовых вод были проанализированы на содержание основных ионов. Для определения Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- использовалась система капиллярного электрофореза “Капель-105м”, HCO_3^- , CO_3^{2-} определялись титриметриче-

ским методом [5], сухой остаток — гравиметрическим методом [7].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований располагается в дельте р. Меконг в провинциях Анзянг, Виньлонг, Бенче, Тьянзянг Республики Вьетнам (рис. 1). Ключевые участки представляли собой возделываемые сельскохозяйственные поля, плантации плодовых культур, неэксплуатируемые земли.

Климат имеет ярко выраженную сезонность: май–ноябрь — влажный период, декабрь–апрель — сухой. Среднегодовое количество осадков варьирует от 1400 до 2400 мм, причем более 90% выпадает во время влажного сезона и менее 10% — в сухой период [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Геохимия дельтовых ландшафтов определяется процессами в расположенных выше звеньях речной системы, условиями ландшафтообразования самой дельты и морем, обеспечивающим

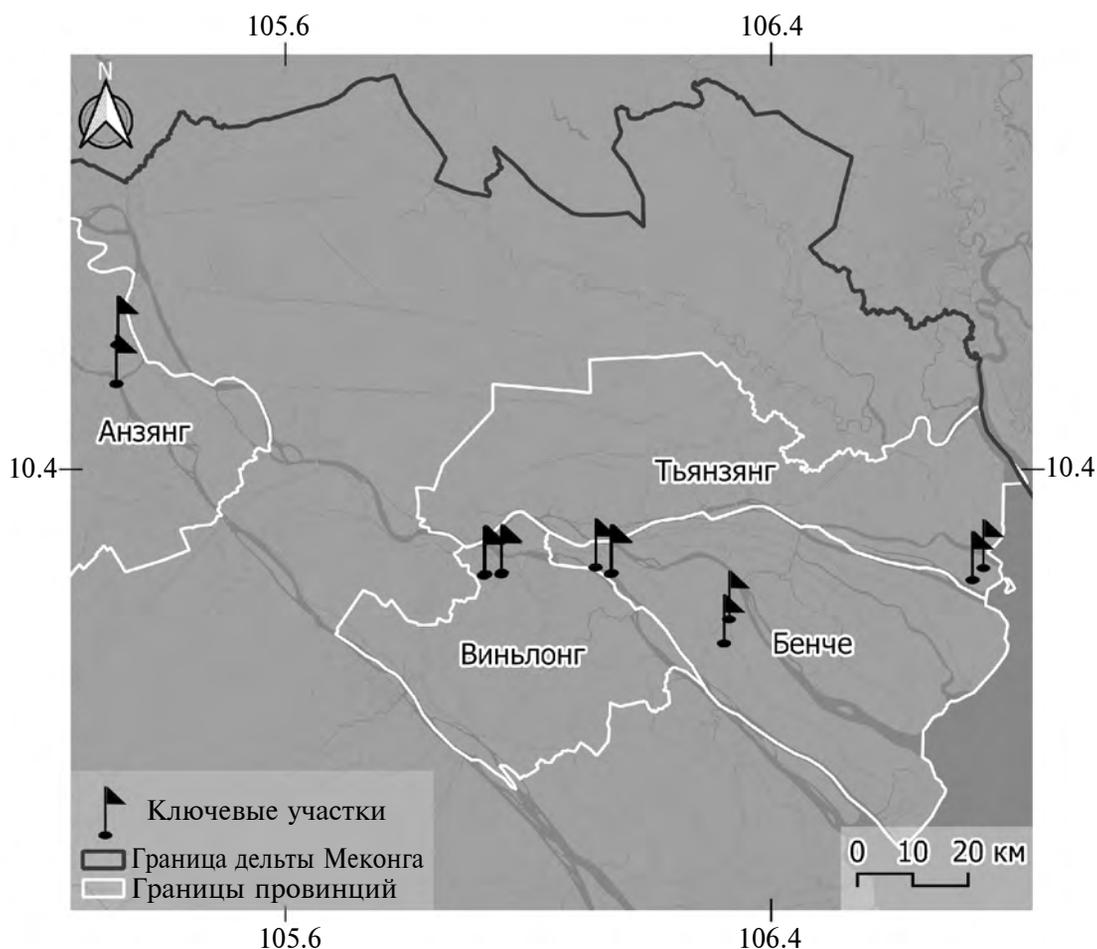


Рис. 1. Расположение ключевых участков.

разнонаправленный транспорт воды и наносов [4]. Разнообразие условий формирования грунтовых вод дельты Меконга и факторов, влияющих на их функционирование, обуславливает различия в их химическом составе.

Согласно диаграмме Пайпера, грунтовые воды представлены всеми четырьмя основными гидрохимическими типами (рис. 2). Большинство образцов воды относятся к типу IV. Это пресные воды с преобладанием гидрокарбонатов и кальция. Встречаются грунтовые воды I типа с преобладанием хлоридов и кальция, а также III типа с доминированием гидрокарбонатов и натрия. Засоленные грунтовые воды приурочены к II типу.

За сухой сезон 2022–2023 гг. грунтовые воды с 8 ключевых участков изменили гидрохимический тип. В провинции Анзянг наиболее сильные изменения в ионном составе претерпели грунтовые воды с двух ключевых участков. В анионном составе первого образца доминирующие гидрокарбонаты сменились хлоридами. Катионный состав существенно не изменился. При этом тип грунтовой воды сменился с IV на I. Второй образец перешел из III типа в IV, что обусловлено в основном изменением в катионном составе, где преобладающий натрий сменился кальцием. При этом содержание кальция увеличилось на 10 мг/л (в 1.2 раза), а содержание натрия уменьшилось на 197 мг/л (в 11.5 раз).

В провинции Виньлонг смена I и II типов грунтовых вод на IV обусловлена в основном изменением в анионном составе. При этом значительная доля хлоридов сменяется на гидрокарбонаты. В 2023 г. абсолютно все образцы грунтовых вод были отнесены к IV типу. По катионному составу большинство образцов находятся на границе кальциевых и смешанных вод. Образцы воды ноября 2022 г. имеют более широкое распределение на треугольнике анионного состава по сравнению с образцами марта 2023 г., которые определяются как гидрокарбонатные.

Образцы грунтовых вод провинции Бенче имеют значительный разброс на диаграмме. Встречаются воды I, II и IV типов. В двух случаях произошла их смена. Первый образец, относящийся к грунтовым водам смешанного состава, изменил свой тип с I на II. При этом произошли уменьшение доли хлоридов и сульфатов и увеличение доли гидрокарбонатов. Второй образец изменил свой тип с II на IV — наиболее существенно снизилась доля хлоридов и возросла доля кальция в ионном составе. На катионном треугольнике пресные воды относятся в основном к смешанному типу, а засоленные — к натриевому. В анионном составе велика доля вод смешанного состава и гидрокарбонатных вод. Засоленные воды относятся к хлоридному типу, что обусловлено проникновением морской воды вглубь материка.

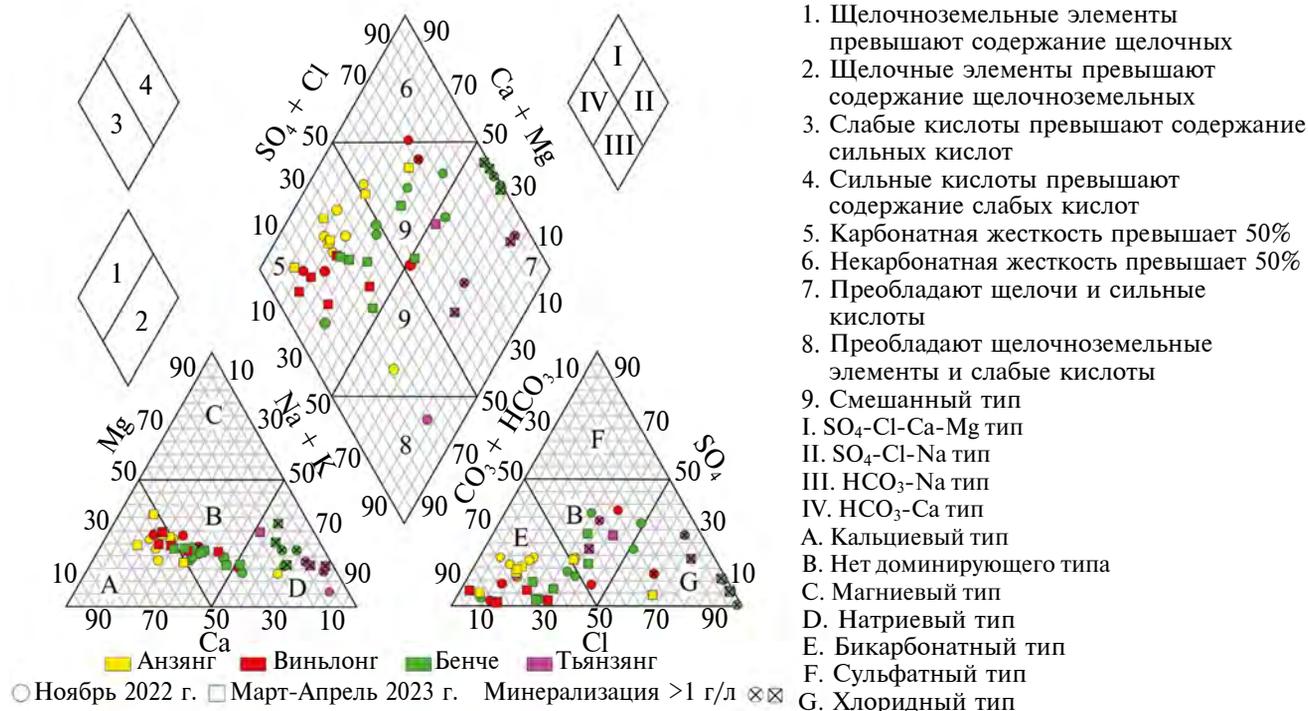


Рис. 2. Гидрохимическая классификация грунтовых вод дельты р. Меконг.

Грунтовые воды провинции Тьянзянг относятся преимущественно к II типу. Это засоленные воды с преобладанием натрия и хлоридов. По катионному составу грунтовые воды группируются более плотно, по сравнению с анионным составом, где наблюдается достаточно широкое варьирование значений. Наиболее сильные изменения в химическом составе произошли на одном ключевом участке — гидрохимический тип сменился с III на II. В катионном составе произошло смещение в сторону смешанных вод, однако натрий остался преобладающим ионом. В анионном составе увеличилась доля хлоридов и сульфатов.

Таким образом, на территории дельты р. Меконг некоторые образцы грунтовых вод изменили гидрохимический тип: с I на II и IV, с II на IV, с III на II и IV, с IV на I (рис. 3а). Наиболее существенное изменение химического состава произошло в пресных грунтовых водах (см. рис. 3б). Исключение составляет один образец грунтовых вод провинции Виньлонг, где в ноябре 2022 г. фиксировалось значение сухого остатка 1370 мг/л. Однако в конце сухого сезона эта величина составила 780 мг/л. Засоленные грунтовые воды более “консервативны” — на исследуемых участках изменения их гидрохимического типа не произошло.

Изменение химического состава грунтовых вод может обуславливаться различными причинами, и одна из главных — хозяйственная деятельность человека. Во-первых, в сухой сезон недостаток осадков компенсируется орошением. Воду заби-

рают из естественных русел Меконга, каналов различной протяженности, прудов-накопителей дождевой воды, подземных вод. При этом химический состав оросительной воды имеет свою сезонную динамику и может значительно различаться.

Во-вторых, во Вьетнаме активно используются средства химической защиты растений и различного рода удобрения. В 2020 г. объем использованных удобрений составил 10.23 млн т, из них 7.6 млн т неорганических удобрений и 2.63 млн т органических удобрений, а также около 17 млн т органических удобрений, произведенных фермерами из побочных продуктов растениеводства и животноводства. Большинство (около 75%) производственных объектов сосредоточено в южном регионе страны [10, 11]. В 2019 г. список разрешенных к использованию в сельском хозяйстве химических препаратов насчитывал 4021 наименование, из которых 75% приходится на пестициды и фунгициды. Согласно отчету о сельскохозяйственном производстве в провинции Анзянг, на долю агрохимикатов приходится 48.9% от общей себестоимости риса [16, 17]. Таким образом активное применение химических средств в сельском хозяйстве может отразиться на химическом составе поверхностных и подземных водных объектов. Например, изменение гидрохимического типа грунтовых вод на ключевом участке в провинции Анзянг и увеличение содержания хлоридов могут быть обусловлены применением хорошо растворимых в воде хлорсодержащих калийных удобрений. При этом калий поглощается коллоидной частью

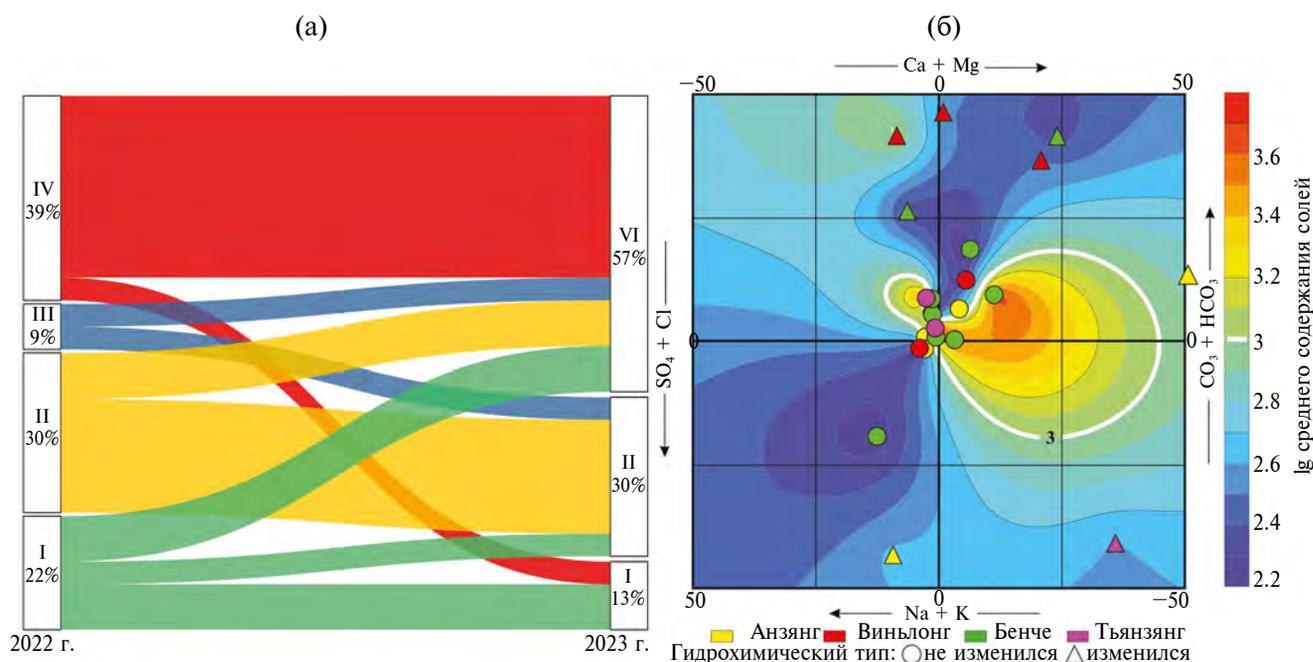


Рис. 3. Динамика химического состава грунтовых вод за сухой сезон 2022–2023 гг.: а — изменение гидрохимического типа; б — изменение соотношения основных ионов в %-экв.

почвы, а хлор остается в почвенном растворе и легко мигрирует в грунтовые воды. За сухой сезон соотношение $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/\text{Cl}^-$ изменилось от 1.1 до 0.3, что говорит о доминировании иона хлора и может свидетельствовать об обмене Na^+ и K^+ с почвенно-поглощающим комплексом.

На территории дельты Меконга велико влияние интрузии морской воды, распространяющейся на десятки километров вглубь полуострова [17]. Грунтовые воды тесно связаны с поверхностными в связи с их неглубоким залеганием и густой канальной сетью, поэтому проникновение соленой воды во многом определяет их химический состав. Изменение гидрохимического типа грунтовых вод, обусловленное этим процессом, проявляется на границе с пресными водами, которая может изменяться год от года в связи с погодными условиями, ситуацией в верховьях реки, системой управления речным стоком в самой дельте. На ранних стадиях засоления/опреснения могут формироваться грунтовые воды $\text{Ca}-\text{Cl}$, $\text{Na}-\text{Mg}-\text{Cl}$, $\text{Na}-\text{HCO}_3$ типов [9]. На территории дельты р. Меконг, по данным [3], пик солености фиксировался в сухой сезон 2019–2020 гг., также отмечалась тенденция увеличения проникновения вглубь суши границы соленых вод.

Ярко выраженная сезонность климата также влияет на динамику химического состава грунтовых вод вследствие концентрирования путем испарения или разбавления атмосферными осадками. Движение воздушных масс над океанами и морями представляет значительный источник пополнения атмосферы растворимыми солями. Вблизи побережий ветер приносит соли водяных брызг, а наиболее высокодисперсные частицы воды поднимаются конвекционными токами на значительную высоту и переносятся воздушными течениями вглубь материка на большие расстояния [2]. По данным исследований, проведенных в северо-восточной части Вьетнама, химический состав атмосферных осадков определяется как преимущественно сульфатный кальциевый. Однако на участках, наиболее близких к морскому побережью, доля Na^+ и Cl^- также велика [18].

В работе [14] отмечается абсолютное доминирование Na^+ и Cl^- в составе выпадающих осадков. Таким образом, летом в условиях Восточноазиатского муссона атмосферные осадки могут влиять на химический состав грунтовых вод, в особенности пресных и слабоминерализованных. Так, например, изменение гидрохимического типа грунтовых вод с I и II на IV в провинции Виньлонг, где доминирующие хлориды сменились гидрокарбонатами, возможно связано со смешиванием грунтовых вод с атмосферными осадками во влажный сезон. В двух случаях из трех ключевые участки представляли собой невозделываемые земли (заброшенные огороды). Таким образом, можно предположить, что на изменение химиче-

ского состава грунтовых вод в большей степени оказали влияние природные факторы.

Важным фактором, определяющим химический состав грунтовых вод в дельте Меконга, является сброс промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. Причем это приводит не только к смене гидрохимического типа, но и повышает риск возникновения заболеваний, связанных с превышением предельно допустимых концентраций [12, 13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории дельты р. Меконг грунтовые воды представлены всеми четырьмя основными гидрохимическими типами (согласно диаграмме Пайпера). Большинство образцов воды относятся к типу IV. Это пресные воды с преобладанием гидрокарбонатов и кальция. Встречаются грунтовые воды I типа с преобладанием хлоридов и кальция, а также III типа с доминированием гидрокарбонатов и натрия. Засоленные грунтовые воды приурочены к II типу.

За сухой сезон 2022–2023 гг. грунтовые воды с 8 ключевых участков изменили гидрохимический тип: с I на II и IV, с II на IV, с III на II и IV, с IV на I. Наиболее существенное изменение химического состава произошло в пресных грунтовых водах. Смена гидрохимического типа может обуславливаться использованием оросительной воды различного состава, применением средств химической защиты растений и удобрений, динамикой интрузии морских вод, атмосферными осадками, сбросом сточных вод.

Активное ведение хозяйства на территории дельты р. Меконг имеет своей глобальной целью обеспечение продовольственной безопасности страны. Однако следует учитывать возникающие при этом риски, в особенности связанные с эксплуатацией водных ресурсов региона.

Работа выполнена в рамках реализации НИР Эколан 3.7. “Теоретические основы управления водными ресурсами реки Меконг на основе динамической модели водного баланса, математического и геоинформационного моделирования процессов формирования и динамики грунтовых и поверхностных вод”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лам В.Х.К. Возраст и условия формирования вод верхне- и нижнеплиоценовых водоносных горизонтов дельты р. Меконг, по данным изотопно-геохимических исследований: дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. Москва, 2022. 160 с.
2. Максимович Г.А. Химическая география вод суши. М.: Географгиз, 1955. 328 с.
3. Ньунг Н.Т.Т. Текущее состояние солевой интрузии в дельте Меконга во Вьетнаме // Вестник НМС. 2020. № 19. С. 74–80.
DOI: 10.26897/2618-8732-2020-74-80

4. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.
5. ПНД Ф 14.1:2:3.99-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом: утвержден 22.06.2017 / разработан ООО НПП Акватест. М.: ФГУ Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2017. 25 с.
6. *Рогожина Н.Г.* Экологические и социальные проблемы дельты реки Меконг во Вьетнаме // Вьетнамские исследования. 2022. № 2(6). С. 37–45. <https://doi.org/10.54631/VS.2022.62-101585>.
7. ФР.1.31.2010.07463. МВИ массовой концентрации плотного, сухого и прокалённого остатка в сточных водах (и/или жидких отходах), в природных водах гравиметрическим методом. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm>
8. *Чан Х.Т.* Эколого-гидрологические проблемы дельты реки Меконг // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. №1. С. 24–39. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2019-1-2>
9. *Bauer J., Börsig N., Pham V., Hoan T.V., Nguyen H., Stefan N.* Geochemistry and evolution of groundwater resources in the context of salinization and freshening in the southernmost Mekong Delta, Vietnam // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2022. V. 40. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101010>
10. *Cramb R.* The Evolution of Rice Farming in the Lower Mekong Basin // White Gold: The Commercialisation of Rice Farming in the Lower Mekong Basin. Palgrave Macmillan. 2020. P. 3–37. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0998-8_1
11. Department of Competition and Consumer Protection cooperated with the Japan International Cooperation Agency to conduct a competition report in the field of urea production and trading in Vietnam // Ministry of Industry and Trade (Vietnam): <https://moit.gov.vn/en>
12. *Giao N., Nhien H., Phan A., Thuptimrang P.* Groundwater quality assessment for drinking purposes: a case study in the Mekong Delta // Vietnam. Scientific Reports. 2023. V.13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31621-9>
13. *Giao N., Phan A., Nhien H.* Groundwater quality assessment using modified water quality index and associated human health risks in coastal regions of Vietnamese Mekong Delta // Arabian Journal of Geosciences. 2022. V. 15. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10906-9>
14. *Gobre T., Salve P.R., Krupadam R.J., Bansawal A., Shastry S., Wate S.R.* Chemical Composition of Precipitation in the Coastal Environment of India // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2010. V. 85(1), 48–53. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0006-0>
15. Statistical yearbook of Viet Nam 2022 // General Statistics Office (GSO) of Viet Nam: <https://www.gso.gov.vn/en/data-and-statistics/2023/06/statistical-yearbook-of-2022/>
16. *Thanh P.L., Tran T.A.* Highly Hazardous Pesticides in Vietnam: A Situational Analysis. Report // Research Centre for Rural Development. 2020. P. 38.
17. *Tran D.A., Tsujimura M., Vo, L.P., Nguyen, V.T., Kambuku D., Dang T.D.* Hydrogeochemical characteristics of a multi-layered coastal aquifer system in the Mekong Delta, Vietnam // Environmental Geochemistry and Health. 2019. V. 42(2). P. 661–680. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00400-9>
18. *Viet P.H., Tuan V.V., Hoai P.M., Anh N.T.K., Yen P.T.* Chemical composition and acidity of precipitations: a monitoring program in northeastern Vietnam // Water, Air, and Soil Pollution, 2001. V. 130(1/4), P. 1499–1504. <https://doi.org/10.1023/a:1013989703593>

SEASONAL DYNAMICS OF GROUNDWATER CHEMICAL COMPOSITION IN THE MEKONG RIVER DELTA

M. V. Bolgov^b, A. K. Kulik^b, N. T. Hiep^a, V. T. M. Chau^a, T. T. L. Thu^a, R. N. Balkushkin^{b, #}, A. A. Vypritskiy^b, A. A. Vasilchenko^b

^a*Southern Branch of Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, 3 st. 3/2, Dist. 10, Ho Chi Minh City, Vietnam*

^b*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the RAS, Universitetsky pr. 97, Volgograd, 400062 Russia*

[#]*E-mail: balkushkin_r@vfanc.ru*

The Mekong Delta is a large agricultural region of Vietnam, ensuring food security and supporting the country's export potential. The possibility of effective agriculture requires accurate information on the groundwater state and assessment of both natural and anthropogenic factors that determine its chemical composition. The objective of the study was to investigate the dynamics of groundwater chemistry in the Mekong Delta during the 2022–2023 dry season. In total, 23 water samples were collected from the first aquifer in four provinces in November 2022 (the beginning of the dry season) and 23 samples in March–April 2023 (the end of dry season). The groundwater samples were analyzed for the content of major ions. The results of the study revealed that during the 2022–2023 dry season, groundwater from 8 key sites changed its hydrochemical type: from I to II and IV, from II to IV, from III to II and IV, from IV to I (according to the Piper diagram). The most significant change in the chemical composition occurred in fresh groundwater. The change of hydrochemical type can be caused by the use of irrigation water of different composition, the use of chemical plant protection products and fertilizers on agricultural lands, the dynamics of seawater intrusion, precipitation and wastewater discharge.

Keywords: *groundwater, Mekong Delta, ionic composition of water, hydrochemical types of water, seawater intrusion*

REFERENCES

1. Lam, V.H.K. [Age and formation conditions of water in the Upper and Lower Pliocene aquifers in the Mekong River delta by the data of isotope geochemical studies]. Cand. Sci. (Geol.-Min.) Diss., Moscow, 2022, 160 p. (in Russian)
2. Maksimovich, G.A. [Chemical geography of terrestrial water]. Moscow, Geografiz Publ., 1955, 328 p. (in Russian)
3. N'ung, N.T.T. [Current state of salt intrusion in the Mekong River delta in Vietnam]. *Vestnik NMS*, 2020, no. 19, pp. 74–80. DOI: 10.26897/2618-8732-2020-74-80 (in Russian)
4. Perel'man, A.I., Kasimov, N.S. [Geochemistry of landscape]. Moscow, MSU Publ., 1999. 610 p. (in Russian)
5. [PND F 14.1:2:3.99-97. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of hydrocarbonates in samples of natural and waste water by the titrimetric method: approved on 22.06.2017 / developed by NPP Aquatest LLC]. Moscow, Federal Center for Analysis and Assessment of Technogenic Impact, 2017, 25 p. (in Russian)
6. Rogozhina, N.G. [Environmental and social problems in the Mekong River Delta in Vietnam]. *Vietnamskie issledovaniya*, 2022, no. 2 (6), pp. 37–45. <https://doi.org/10.54631/VS.2022.62-101585>. (in Russian)
7. [FR.1.31.2010.07463. MVI of mass concentration of dense, dry and calcined residue in wastewater (and/or liquid waste), in natural waters by the gravimetric method]. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812502.htm> (in Russian)
8. Chan, H.T. [Ecological and hydrological problems in the Mekong River Delta]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problem, tekhnologii, upravlenie*. 2019, no. 1, pp. 24–39. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2019-1-2> (in Russian)
9. Bauer, J., Börsig, N., Pham, V., Hoan, T.V., Nguyen, H., Stefan, N. Geochemistry and evolution of groundwater resources in the context of salinization and freshening in the southernmost Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2022, vol. 40. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101010>
10. Cramb, R. The evolution of rice farming in the Lower Mekong Basin. In: *White gold: the commercialisation of rice farming in the Lower Mekong Basin*. Palgrave Macmillan, 2020, pp. 3–37. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0998-8_1
11. Department of Competition and Consumer Protection cooperated with the Japan International Cooperation Agency to conduct a competition report in the field of urea production and trading in Vietnam. Ministry of Industry and Trade (Vietnam): <https://moit.gov.vn/en>
12. Giao, N., Nhien, H., Phan, A., Thuptimdang, P. Groundwater quality assessment for drinking purposes: a case study in the Mekong Delta. *Vietnam. Scientific Reports*, 2023, vol.13, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31621-9>
13. Giao, N., Phan, A., Nhien, H. Groundwater quality assessment using modified water quality index and associated human health risks in coastal regions of Vietnamese Mekong Delta. *Arabian Journal of Geosciences*, 2022, vol. 15. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10906-9>
14. Gobre, T., Salve, P.R., Krupadam, R.J., Bansiwala, A., Shastry, S., Wate, S.R. Chemical composition of precipitation in the coastal environment of India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, vol. 85(1), 48–53. <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0006-0>
15. Statistical yearbook of Viet Nam 2022. In: General Statistics Office (GSO) of Viet Nam. <https://www.gso.gov.vn/en/data-and-statistics/2023/06/statistical-yearbook-of-2022/>
16. Thanh, P.L., Tran, T.A. Highly hazardous pesticides in Vietnam: A situational analysis. Report. Research Centre for Rural Development, 2020, pp. 38.
17. Tran, D.A., Tsujimura, M., Vo, L.P., Nguyen, V.T., Kambuku, D., Dang, T.D. Hydrogeochemical characteristics of a multi-layered coastal aquifer system in the Mekong Delta, Vietnam. *Environmental Geochemistry and Health*, 2019, vol. 42(2), pp. 661–680. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00400-9>
18. Viet, P.H., Tuan, V.V., Hoai, P.M., Anh, N.T.K., Yen, P.T. Chemical composition and acidity of precipitations: a monitoring program in northeastern Vietnam. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2001, vol. 130(1/4), pp. 1499–1504. <https://doi.org/10.1023/a:1013989703593>