
СОХРАНЕНИЕ МАНГРОВЫХ ЛЕСОВ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО РАЗВИТИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ДОНГНАЙ

Чинь Ле Конг¹, М.А. Некрасова¹,
М.В. Болгов²

¹Экологический факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

²Лаборатория динамики моря и баланса Каспия
Институт водных проблем РАН
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

Устойчивость экосистем мангровых лесов к воздействию природных и антропогенных факторов окружающей среды в основном определяется рядом приспособлений у древесных растений, а также их способностью доминировать в формировании биогенных мангровых берегов. В статье показано, как на устойчивость мангровых лесов влияет потепление климата и изменение водного баланса морской и пресной воды в результате развития водохозяйственной системы в бассейне р. Донгнай.

Ключевые слова: биоразнообразие, мангровая экосистема, водохозяйственная система, водопотребление, бассейн реки, биосферный заповедник, Вьетнам.

Устойчивость экосистем мангровых лесов к воздействию природных и антропогенных факторов окружающей среды в основном определяется рядом приспособлений у древесных растений, биоразнообразием и фитоценозом мангровых зарослей, а также их способностью доминировать в формировании биогенных мангровых берегов на образовавшихся в результате геологической деятельности моря (волны, приливы, сгоны, нагоны) отмелей песчано-илистых берегах. Однако рост водопользования и водопотребления, сопровождающиеся снижением доступа к пресной воде и изменением гидрологических режимов, могут погубить существующие экосистемы мангровых лесов [4; 5].

Начиная с 1980—1990-х гг. Никенсон, Тибодеау, Макки и Фаулкнер в ряде работ показали, что выживание и развитие мангровых лесов связаны с глубиной, продолжительностью, частотой приливов и гидрологическим режимом в водно-болотных угодьях мангровых лесов [7; 8].

Во Вьетнаме важнейшей проблемой современного водопользования в бассейне р. Донгнай является нерациональное и неэффективное использование водных ресурсов в отраслях с высоким удельным расходом воды: в промышленности, агропромышленном комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве [15; 16]. Научные работы Ф.Н. Хонг, Ле Лой и др. показали, что важнейшую функцию в мангровых экосистемах выполняет гидрологический режим. Несмотря на ведущую роль гидрологического режима, влияние этого фактора на устойчивость мангровых экосистем изучено недостаточно. Особую роль в сохранении экосистемы мангровых лесов играют мероприятия по предотвращению сокращения поверхностного стока [6].

Природно-климатическая характеристика административного района Канзио и мангрового биосферного заповедника «Канзио». Из-за большой протяженности береговой линии, превышающей 3260 км, и двух крупных речных дельт в сочетании с тропическим климатом во Вьетнаме сформировались природно-климатические условия, необходимые для распространения мангровых экосистем. В 2005 г. было зарегистрировано 156 500 га мангровых лесов [4; 10]. Более 60% мангровых лесов Вьетнама расположены в дельте рек Донгнай и Меконг (в провинциях Шок Чанг, Баклиеу, Камау и Киензианг), 20% расположены в юго-восточном регионе (Канзио) и еще около 20% — на северном побережье и в дельте Красной реки [4; 10]. Мангровые леса занимают более 40% округа Канзио, в то время как реки и водные акватории, суша, океан и переходные зоны занимают около 30% площади [18].

Биосферный заповедник «Канзио» — это водно-болотные угодья, расположенные в районе Канзио. Простираясь от $10^{\circ} 22'$ до $10^{\circ} 40'$ северной широты и от $106^{\circ} 46'$ до $107^{\circ} 01'$ восточной долготы ООПТ «Канзио» полностью расположен в пределах района Канзио г. Хошимин (рис. 1). Это один из 18 районов города Хошимин и занимает площадь в 73 361 га. Он граничит с районом Нха Бена на севере и с Южно-Китайским морем на юге [8; 12; 14].



Рис. 1. Географическое положение ООПТ «Канзио» на карте Вьетнама

Как видно из рис. 1, ООПТ «Канзио» расположен в устьевом комплексе на приливно-отливной отмели, где реки Вамко, Сайгон и Донгнай впадают в Южно-Китайское море. Рельеф территории — низменный, а гидрологический режим очень динамичный благодаря полусуточному приливному режиму. В зависимости от времени года и близости к морю амплитуда приливов изменяется в диапазоне от 2 до 4 м [16; 17]. Климат ООПТ «Канзио» типичен для муссонной тропической

зоны с двумя отличающимися сезонами. Среднегодовая температура составляет 25,8 °С. Температура высокая и стабильная в течение года, но количество осадков и влажность воздуха различаются в сухом и дождливом сезоне. Сухой сезон начинается в ноябре и длится до конца мая. Дождливый сезон длится с конца мая до конца октября. Среднегодовое количество осадков Канзио колеблется от 1300 до 1400 мм с наиболее высоким среднемесячным количеством осадков в сентябре около 300—400 мм. Влажность воздуха во время сезона дождей колеблется от 79 до 83%, а в сухой сезон влажность воздуха в дневное время, как правило, не превышает 60%. Средняя годовая относительная влажность воздуха составляет 80%. В марте и апреле испарение очень высокое (7—8 мм в сутки), а в сезон дождей снижается до 2,5—5,0 мм в сутки. Засоление почв меняется в зависимости от сезона и колеблется от 0,5% в сезон дождей и до 2% в сухой сезон. Среднемесячное засоление почв 1,8% [10; 11].

Мангровые леса ООПТ «Канзио» считаются одними из самых продуктивных мангровых лесов Юго-Восточной Азии. ООПТ «Канзио» является крупнейшим по площади восстановленным лесом во Вьетнаме с красивым природным ландшафтом и разнообразной флорой и фауной, ареал мангровых лесов биосферного заповедника «Канзио» обладает очень высоким уровнем биоразнообразия с более чем 200 видами фауны и 52 видами флоры [12—14]. Территория заповедника разделена на центральную, буферную и переходную функциональные зоны.

В 2000 г. ООПТ «Канзио» была объявлена Международным биосферным заповедником ЮНЕСКО (решение международного Координационного совета программы «Человек и биосфера»), что предъявляет новые серьезные требования к сохранению его экосистемы.

Методика оценки воздействия водохозяйственной системы бассейна р. Донгнай на экосистему ООПТ «Канзио». Изучение влияния водохозяйственной системы р. Донгнай на устойчивость мангровой экосистемы ООПТ «Канзио» состояло из 4 основных стадий. На 1-й стадии исследования проводился сбор и анализ научных исследований, на 2-й стадии — изучение природно-климатических, гидрологических, экологических и социоэкономических условий ООПТ «Канзио» и бассейна р. Донгнай, на 3-й стадии — моделирование и прогнозирование гидрологического режима и развития водохозяйственной системы в ПК WEAP, расчет экологической техноёмкости и рекреационной нагрузки на территорию. На 4-й стадии исследования проводились анализ результатов моделирования и прогнозирования, разработка системы экологического мониторинга по ключевым показателям, рекомендаций по сохранению мангровых экосистем при соблюдении допустимого уровня водопользования и устойчивому развитию территорий на основе принципов голубой экономики.

Моделирование и прогнозирование в ПК WEAP позволяет оценивать и планировать потребление водных ресурсов. В ПК WEAP используется интегрированный подход к планированию и управлению водными ресурсами. WEAP разработан в Stockholm Environment Institute's U.S. Center.

Расчет экологической техноёмкости территории (ЭТТ) проводился по стандартной методике и основывался на определении колебаний и отклонений характеристического состава окружающей среды в бассейне р. Донгнай и ООПТ «Кан-

зио» от естественного уровня под воздействием интенсивного развития водохозяйственной системы. Методика позволяет определить превышение предела устойчивости природного комплекса территории [1—3]. ЭТТ вычисляли по формуле [1—3]

$$H_T = \sum \Theta_i \cdot X_i \cdot A_i \quad (i = 1, 2, 3),$$

где H_T — экологическая техноёмкость территория, выраженная в единицах массовой техногенной нагрузки (усл. т/год); Θ_i — экологическая ёмкость i -й среды (т/год); X_i — коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде; A_i — коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей).

Для определения превышения предельно допустимой техногенной нагрузки или ЭТТ была рассчитана фактическая техногенная нагрузка.

Результаты исследований водопотребления в бассейне р. Донгнай. Основным водотоком, режим которого определяет гидрологические условия функционирования экосистемы мангрового леса ООПТ «Канзио», является р. Донгнай. Бассейн р. Донгнай играет важную роль в народном хозяйстве и экономике Вьетнама, он является наиболее экономически развитой территорией центральной части юга Вьетнама, с высокой плотностью населения, развитым сельским хозяйством и высокой концентрацией промышленных предприятий. В бассейне р. Донгнай в 2000-е гг. проживало 14 млн человек, этот регион занимает 2-е место во Вьетнаме по плотности населения. Около 10% площади бассейна реки Донгнай занимает ООПТ «Канзио». В бассейне площадь орошаемых земель составляет 970 316 га, и 4500 га занято промышленностью. В бассейне р. Донгнай расположены важнейшие производители сельскохозяйственной продукции и предприятия по его переработке [15—18]. Общее потребление и прогнозируемое водопотребление в бассейне р. Донгнай неуклонно возрастает главным образом в связи развитием сельского хозяйства и промышленности (табл. 1).

Таблица 1

Ретроспективный анализ и прогноз потребления воды в бассейне р. Донгнай в период с 2000 по 2020 гг.

Годы	Общее водопотребление, 10^6 м^3	Сельское хозяйство, 10^6 м^3	Промышленность, 10^6 м^3	Коммунальное хозяйство, 10^6 м^3
2000	6 031	5 189	128	714
2010	8 008	6 535	408	1 065
2020	9 568	7 023	1 037	1 508

Как видно из таблицы, на протяжении 20 лет общее водопользование в бассейне р. Донгнай возрастет на 55 %. На протяжении 2000—2020 гг. водопотребление в промышленности возрастет почти в 10 раз, а водопотребление для хозяйственно-бытовых целей — более чем в 2 раза.

Рост водопотребления в бассейне р. Донгнай до 2020 гг. связан с развитием сельского хозяйства, которое является самым значительным потребителем речного стока. Рост водопотребления также связан с существенным увеличением потре-

ния воды в коммунальном хозяйстве населенных пунктов, из-за общего роста городского населения, повышения комфортабельности жилья, качества жизни и т.д.

Проведенные экосистемные исследования показали, что биомасса мангровых лесов ООПТ «Канзио» в сотни раз превышает биомассу экосистем в бассейне р. Донгнай, однако в десятки раз меньше среднего значения биомассы тропических лесов, что вероятно, связано с мероприятиями по лесовосстановлению. Первичная продуктивность мангровых лесов в среднем в 3 раза выше, чем у экосистем в бассейне р. Донгнай (табл. 2). Полученные результаты подтверждаются данными исследований, проведенных В.Н. Нам в 2000—2004 гг. [13].

Таблица 2

Биомасса и первичная продуктивность экосистемы мангровых лесов ООПТ «Канзио»

Регион	Зона	Биомасса, т/га	Первичная продуктивность, т/га
р. Донгнай	—	16	8
ООПТ «Канзио»	Центраная зона	137	24,89
	Буферная зона	128	23,37
	Переходная зона	110	21,77

Под экологической техноемкостью бассейна р. Донгнай и ООПТ «Канзио» мы понимаем интегральную характеристику, соответствующую максимальной техногенной нагрузке от рекреационного использования, коммунального хозяйства, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, которую могут выдержать и переносить в течение длительного времени мангровые экосистемы ООПТ «Канзио» и экологические системы в бассейне р. Донгнай без нарушения их структуры, функций и устойчивости.

Результаты расчетов ЭТТ бассейна р. Донгнай и ООПТ «Канзио» по функциональным зонам представлены в табл. 3.

Таблица 3

Экологическая техноемкость бассейна р. Донгнай и ООПТ «Канзио»

Показатели	Бассейн реки Донгнай	ООПТ «Канзио»		
		центраная зона	буферная зона	переходная зона
Фактическая техногенная нагрузка, усл. т/год	12 078 268	14 628	60 128	96 258
<i>Исходные данные для расчета ЭТТ</i>				
Площадь территории S , км ²	48 000	47,21	373,39	293,10
Слой загрязнения воздуха h , км	0,05	0,03	0,03	0,03
Средняя скорость ветра v , м/с	2,3	2,85	2,85	2,85
Годовое количество осадков W , мм	2 070	1350	1 350	1 350
Расход воды в водотоках f , м ³ /с	1 067	98,3	98,3	98,3
Объем поверхностных вод V_2 , км ³	33,82	0,8	0,8	0,8
Плотность биомассы C_3 , т/км ²	3 800	5 731	5 050	4 870
ЭТТ, усл. т/год	17 589 780	48 417	69 188	88 487
Превышение ЭТТ	0,68	0,3	0,86	1,1

Из таблицы видно, что фактическая техногенная нагрузка в переходной зоне ООПТ «Канзио» превышает максимально допустимую нагрузку почти в 1,1 раза, т.е. достигнут предел устойчивости природного комплекса территории. Данный факт свидетельствует об экологическом неблагополучии мангровых лесов в переходной зоне ООПТ «Канзио», подвергающейся интенсивной рекреационной нагрузке и хозяйственному воздействию, и ввиду этого требующей особого внимания к устойчивости мангровой экосистемы и уровню экологической безопасности территории. Кроме того, результаты расчета ЭТТ показали, что экологическое равновесие между природными и техногенными факторами в бассейне р. Донгнай и экосистеме мангровых лесов в центральной зоне ООПТ «Канзио» еще не нарушено, а в буферной — находится в критическом состоянии.

Проведенные исследования позволяют предположить, что основной вред наряду с рекреационной нагрузкой мангровым экосистемам наносит изменение водного баланса речных и морских вод, сопровождающееся резким ростом водопотребления и потеплением климата и, как следствие, подъемом уровня моря и изменением солености, так как известно, что характерное для морских вод постоянство соотношения ионов нарушается при солености ниже 5—8‰ и выше 42—45‰ и действует как осмотический и рапический фактор одновременно, что приводит к акклимации и изменению ареалов распространению видов и, как следствие, изменению устойчивости мангровых экосистем. Отмеченное нами зональное распространение мангровых лесов в крест простирания береговой линии в ООПТ «Канзио» указывает на генотипические адаптации, что подтверждается многолетними исследованиями Никенсона, Тибодеау, Макки и Фаулкнера и др. [7; 8].

Экономика в бассейне реки Дангнай развивается, водопотребление в ходе развития промышленности, коммунального и сельского хозяйства, возрастает, что приводит к увеличению экологической нагрузки на водно-болотные мангровые лесные экосистемы ООПТ «Канзио». Дальнейший рост водопотребления приведет к существенному ухудшению состояния экологических систем особо охраняемых природных территорий в бассейне реки Донгнай, в частности ООПТ «Канзо». Эффект, который мы ожидаем от такого рода развития водопотребления, обусловлен сокращением речного стока и увеличением солености в зоне распространения мангровых лесов.

Анализ, прогноз гидрологического режима и оптимизация водопотребления являются основой для формирования устойчивого водопользования и повышения эффективности использования водных ресурсов в народном хозяйстве. Для обеспечения экологической безопасности, сохранения природных гидрологических условий и устойчивости мангровой экосистемы ООПТ «Канзио» было проведено моделирование гидрологического режима, прогнозирование водопотребления и сделан прогноз допустимого водопотребления в бассейне р. Донгнай (Вьетнам) на период 2020 г. В соответствии с проведенными нами прогнозными расчетами соблюдение допустимого уровня водопотребления обеспечит устойчивость экологических систем бассейна р. Донгнай и мангровых лесов ООПТ «Канзио».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В.* Экология. Природа — Человек — Техника. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
- [2] *Белик И.С., Никулина Н.Л.* Методические подходы к оценке экологической безопасности региона // Вестник УГТУ-УПИ. — 2006. — № 1 (72). — С. 100—106.
- [3] *Гирусов Э.В., Лопатина В.Н.* Экология природопользования: Учебник для вузов. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, Единство, 2003.
- [4] Effect of hydrology on mangrove ecosystems: effect of hydrology on the structure and function of mangrove ecosystems in the Can Gio mangrove biosphere reserve, Vietnam. Loi Le. VDM Verlag Dr. Müller, 2010.
- [5] *van Loon A.F., Dijkema R., van Mensvoort M.E.F.* Hydrological classification in mangrove areas: A case study in Can Gio, Vietnam: Aquatic Botany, 2007.
- [6] *Koch M.S., Mendelsohn I.A., McKee K.L.* Mechanism for the hydrogen sulfide-induced growth limitation in wetland macrophytes. Limnol. Ocean 35 (2), 1990 c. 399—408.
- [7] *McKee K.L., Mendelsohn I.A., Hester M.W.* Reexamination of porewater sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. Am. J. Bot. 75 (9), 1988. С. 1352—1359.
- [8] *Nickerson N.H., Thibodeau F.R.* Associations between pore water sulfide concentrations and the distribution of mangroves. Biogeochemistry 1, 1985. С. 183—192.
- [9] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu đa dạng sinh học về thực vật ở trong phân khu bảo vệ nghiêm ngặt của khu bảo tồn thiên nhiên rừng ngập mặn Cần Giờ TP. HCM: Trường Đại học Nông lâm TP. Hồ Chí Minh. 2008.
- [10] Các tài liệu của Phân Viện Quy hoạch và Thiết kế Nông nghiệp, Phân Viện Điều tra Quy hoạch Rừng Nam bộ.
- [11] Đài KT-TV khu vực Nam Bộ, tài liệu khí tượng-thủy văn đến 2006.
- [12] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu sinh khối *Dà quánh* (*Ceriops zippeliana* Blume) và *Cóc trắng* (*Lumnitzera racemosa* Willd) tại Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ, 2007.
- [13] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp quần thể mắm trắng (*Avicennia alba* BL) tự nhiên tại Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh, 2004.
- [14] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp rừng mắm trắng tự nhiên tại tiểu khu 17, huyện Cần giờ Tp. Hồ Chí Minh. 1999.
- [15] Nguyễn Trọng Sinh: Cân bằng và bảo vệ sử dụng hiệu quả nguồn Nước quốc gia — Báo cáo khoa học đề tài cấp Nhà Nước 1996.
- [16] Phân viện KSQHTL Nam Bộ: Quy hoạch phát triển nguồn Nước sông Đồng Nai và vùng phụ cận 1996.
- [17] Phân Viện Quy hoạch Thủy lợi Nam Bộ: Quy hoạch tiêu thoát nước TP. Hồ Chí Minh, 1997—2000.
- [18] Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, các báo cáo quy hoạch thủy lợi liên quan đến LVSDN&VPC, từ 1990—2006.

LITERATURA

- [1] *Akimova T.A., Kuz'min A.P., Haskin V.V.* Jekologija. Priroda — Chelovek — Tehnika. — M.: JuNITI-DANA, 2001.
- [2] *Belik I.S., Nikulina N.L.* Metodicheskie podhody k ocenke jekologicheskoy bezopasnosti regiona // Vestnik UGTU-UPI. — 2006. — № 1 (72). — S. 100—106.
- [3] *Girusov Je.V., Lopatina V.N.* Jekologija prirodopol'zovaniya: Uchebnik dlja vuzov. — M.: JuNITI-DANA, Edinstvo, 2003.
- [4] Effect of hydrology on mangrove ecosystems: effect of hydrology on the structure and function of mangrove ecosystems in the Can Gio mangrove biosphere reserve, Vietnam. Loi Le. VDM Verlag Dr. Müller, 2010.

- [5] *van Loon A.F., Dijkstra R., van Mensvoort M.E.F.* Hydrological classification in mangrove areas: A case study in Can Gio, Vietnam: Aquatic Botany, 2007.
- [6] *Koch M.S., Mendelssohn I.A., McKee K.L.* Mechanism for the hydrogen sulfide-induced growth limitation in wetland macrophytes. Limnol. Ocean 35 (2), 1990 s. 399—408.
- [7] *McKee K.L., Mendelssohn I.A., Hester M.W.* Reexamination of porewater sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. Am. J. Bot. 75 (9), 1988. S. 1352—1359.
- [8] *Nickerson N.H., Thibodeau F.R.* Associations between pore water sulfide concentrations and the distribution of mangroves. Biogeochemistry 1, 1985. S. 183—192.
- [9] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu đa dạng sinh học về thực vật ở trong phân khu bảo vệ nghiêm ngặt của khu bảo tồn thiên nhiên rừng ngập mặn Cần Giờ TP. HCM: Trường Đại học Nông lâm TP. Hồ Chí Minh. 2008.
- [10] Các tài liệu của Phân Viện Quy hoạch và Thiết kế Nông nghiệp, Phân Viện Điều tra Quy hoạch Rừng Nam bộ.
- [11] Đài KT-TV khu vực Nam Bộ, tài liệu khí tượng-thủy văn đến 2006.
- [12] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu sinh khối *Dà quánh* (*Ceriops zippeliana* Blume) và *Cóc trắng* (*Lumnitzera racemosa* Willd) tại Khu Dự trữ sinh quyển rừng ngập mặn Cần Giờ, 2007.
- [13] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp quần thể *mắm trắng* (*Avicennia alba* BL) tự nhiên tại Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh, 2004
- [14] Viên Ngọc Nam Nghiên cứu sinh khối và năng suất sơ cấp rừng *mắm trắng* tự nhiên tại tiểu khu 17, huyện Cần giờ Tp. Hồ Chí Minh. 1999.
- [15] Nguyễn Trọng Sinh: Cân bằng và bảo vệ sử dụng hiệu quả nguồn Nước quốc gia — Báo cáo khoa học đề tài cấp Nhà Nước 1996.
- [16] Phân viện KSQHTL Nam Bộ: Quy hoạch phát triển nguồn Nước sông Đồng Nai và vùng phụ cận 1996.
- [17] Phân Viện Quy hoạch Thủy lợi Nam Bộ: Quy hoạch tiêu thoát nước TP. Hồ Chí Minh, 1997—2000.
- [18] Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, các báo cáo quy hoạch thủy lợi liên quan đến LVSDN& VPC, từ 1990—2006.

PRESERVATION OF MANGROVE FORESTS IN CONDITIONS OF INTENSIVE DEVELOPMENT OF THE DONG NAI RIVER WATERWORKS SYSTEM

Chinh Le Cong¹, M.A. Nekrasova¹, M.V. Bolgov²

¹Ecological Department

Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

²Laboratory of sea dynamics and Caspian sea balance
Institute of water problems of RAS
Gubkin str., 3, Moscow, Russia, 119333

The mangrove ecosystems' tolerance to the impact of the natural and anthropogenic environmental factors is defined mostly by a number of tree plants' adjustments, and also by their ability to dominate the process of forming biogenous mangrove coastlines. The article reveals how the climate warming and the sea and fresh water balance change as a result of waterworks system development in the Dong Nai river basin impacts the stability of mangrove forests.

Key words: biodiversity, mangrove ecosystem, waterworks system, water consumption, river basin, reserve, Vietnam.