

УДК 574.5:001.892 (57.08)

В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот

**БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ
ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНСТИТУТЕ ГИДРОБИОЛОГИИ
НАН УКРАИНЫ**

Охарактеризованы основные этапы формирования и развития биотехнологических исследований в отделе экологической физиологии водных животных и биотехнологическом комплексе. Проведен анализ многолетних фундаментальных и прикладных исследований способствующих развитию биотехнологического направления в Институте гидробиологии НАН Украины.

***Ключевые слова:** Институт гидробиологии НАН Украины, отдел экологической физиологии водных животных, культивирование гидробионтов, качество воды, состояние водных животных, гидрофитные системы, очистка сточных вод.*

Изучение путей и методов изменения природной среды, окружающей человека, в соответствии с его потребностями, получение полезных для него продуктов и явлений с помощью биологических агентов можно отнести к одним из приоритетных исследований гидробиологии — гидробиотехнологии.

Накопленный опыт отечественных и зарубежных исследователей, а также проведенные в Институте гидробиологии НАН Украины (отдел экологической физиологии водных животных, 1972—1997 гг.) фундаментальные и прикладные исследования, связанные с метаболическими механизмами адаптации беспозвоночных и рыб к изменению физико-химических факторов водной среды [20, 23], разработкой основ управления биосинтетическими процессами [26], раскрытием физиолого-биохимических механизмов адаптации рыб к изменению температурного режима воды [21, 24], а также лежащие в основе температурной акклимации нейро-гормональные механизмы энергообеспечения организма [34], создали предпосылки для разработки новых подходов управления процессами роста и развития водных животных в искусственных условиях.

В последующие годы центральное место в исследованиях отдела заняли вопросы воспроизводства рыб и беспозвоночных в регулируемых системах. Это требовало всестороннего изучения их адаптивных и потенциальных

© В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот, 2015

возможностей к изменению абиотических факторов водной среды на разных этапах онтогенеза.

Формирование маточного стада, управление процессом созревания производителей, получение качественных половых продуктов, выращивание потомства требовали создания управляемых автоматических систем для оптимизации состава и свойств водной среды [1, 15], поддержания оптимального температурного и газового режима, фотопериода и освещенности, круглосуточной раздачи живых и искусственных кормов [33].

Итогом многолетних экспериментальных исследований была разработка научно обоснованных критериев эколого-физиологической подготовки производителей карповых видов рыб [6], что позволило многократно в течение года получать от них качественные половые продукты и жизнестойкое потомство [31].

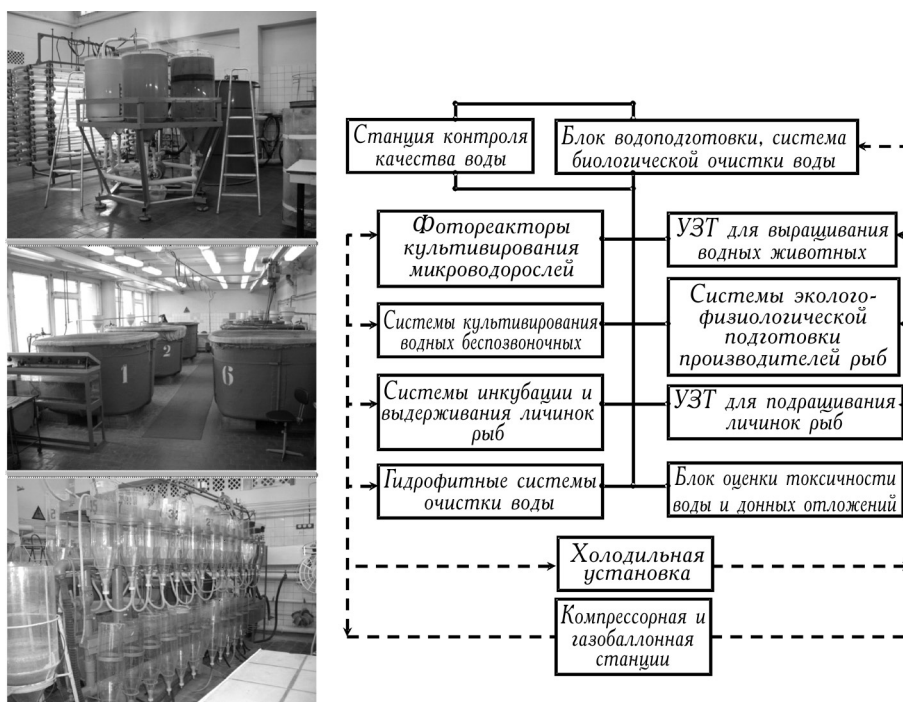
Весомым вкладом в процесс выращивания молоди рыб, полученной столь необычным путем, был разработанный способ культивирования коловраток *Brachionus calyciflorus* [10] и *Br. plicatilis*, ветвистоусых ракообразных *Moina macrocopa* и *Artemia salina* [30], гаммарид *Pontogammarus robustoides* и *Chaetogammarus ischnus* в замкнутых системах.

Подводя итоги многолетней работы полученных научно-практических результатов, необходимо отметить, что именно эколого-физиологические исследования отдела экологической физиологии водных животных явились основой для дальнейшего решения такой масштабной задачи, как разработка биотехнологии круглогодичного, полициклического воспроизводства гидробионтов различных трофических уровней (микроводорослей, беспозвоночных и рыб) в регулируемых системах.

Создание современного биотехнологического комплекса при строительстве нового здания Института гидробиологии НАН Украины (1980—1984 гг.) требовало разработки новых концептуальных подходов создания подобных сооружений. В связи с этим, при проектировании столь специфического объекта в основу разработанной нами концепции был положен комплексный подход — создание серии замкнутых регулируемых систем с блоками физико-химической и биологической очистки воды для культивирования микроводорослей, беспозвоночных и рыб, с возможностью их объединения не только трофической, но и метаболической цепью (рис. 1).

Возросший в XX столетии интерес к разработке биотехнологий культивирования гидробионтов в управляемых системах, а также накопленный в Институте гидробиологии НАН Украины большой теоретический и практический опыт [22, 30], свидетельствовали о перспективности развития данного направления в Украине.

Полученные в 70-х годах прошлого столетия результаты по культивированию микроводорослей также показали преимущество их выращивания в управляемых фотореакторах по сравнению с природными водоемами, что дало возможность данной группе растений — продуцентов биологически



1. Технологическая схема биотехнологического комплекса Института гидробиологии НАН Украины.

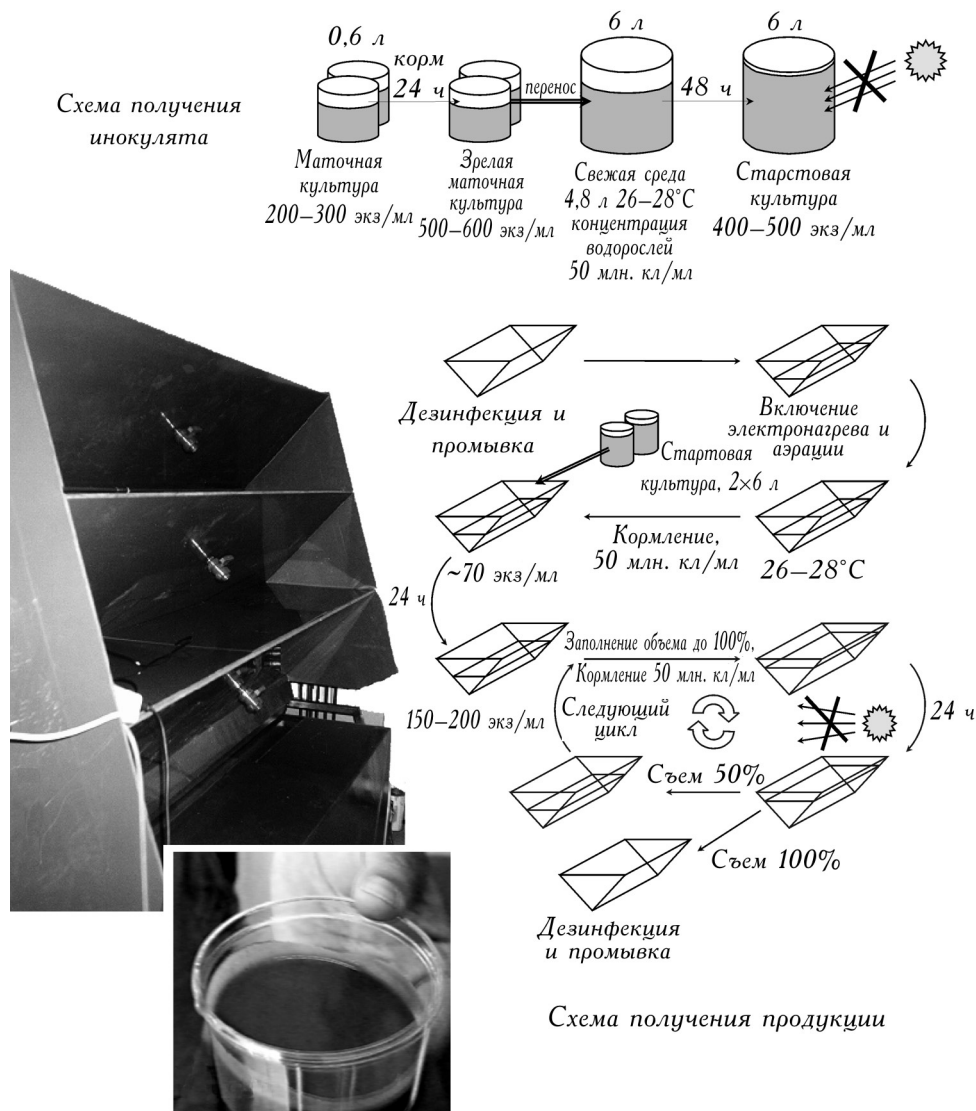
ценных веществ занять свое достойное место в промышленном фотосинтезе.

Учитывая то, что в Украине для культивирования микроводорослей в основном использовали фотореакторы открытого типа, получение их чистой биомассы заданного альгологического и биохимического состава требовало разработки и создания высокоэффективных экспериментальных фотореакторов закрытого типа [2, 4].

Центральное место в разработке биотехнологий выращивания водных беспозвоночных заняли вопросы, связанные с подбором наиболее перспективных видов для массового культивирования, а также созданием культивационных систем для получения их биомассы.

Особое внимание было уделено коловраткам (тип *Nemathelminthes*, класс *Rotatoria*) и ракообразным (тип *Arthropoda*, класс *Crustacea*), которые использовались как живые корма для рыб и других беспозвоночных, сырье для получения биологически активных веществ [28], а также, как тест-организмы для оценки токсичности воды и донных отложений [25].

Учитывая особенности биологии развития этих организмов, разработанные культивационные системы были оборудованы блоками первичной водоподготовки (контроль за температурным и газовым режимом, фотоперио-



2. Технологическая схема и установка для культивирования коловратки *Brachionus calyciflorus*.

дом и освещенностью, наличием патогенных организмов), системами поддержания качества водной среды, ввода кормов и концентрации полученной продукции (рис. 2).

В процессе выращивания водных беспозвоночных особое место было отведено вопросам использования в качестве среды для их культивирования, среды содержания других видов гидробионтов, в частности рыб, которые при высокой плотности посадки в замкнутых системах выделяют значительное количество экзометаболитов, используемых зоопланктонами [10].

При проектировании замкнутых систем эколого-физиологической подготовки производителей, инкубации икры и подращивания личинок рыб, основополагающие технические подходы заключались в разработке блоков физико-химической и биологической очистки воды [15], управления газовым режимом, корректировки ионного состава, а также введения биологически активных веществ и лекарственных препаратов [27], раздачи живых и искусственных кормов [33].

Многолетняя работа ученых отдела экологической физиологии водных животных, созданная современная экспериментальная база позволили разработать биологические основы и технические принципы культивирования гидробионтов различных трофических уровней (микроводоросли, беспозвоночные, рыбы) в регулируемых системах, что отражено в монографии «Биотехнология культивирования гидробионтов» (1999) удостоенной именной премии НАН Украины [30].

Полученные результаты исследований позволили в короткие сроки осуществить промышленное внедрение разработанных биотехнологий [35].

В Винницкой области на Пултовской рыбоводно-мелиоративной станции (директор В. Р. Ключкин) построен опытно-промышленный комплекс по воспроизводству карповых видов рыб, оборудованный первыми в Украине регулируемыми оборотными системами эколого-физиологической подготовки производителей, инкубации икры и выдерживания личинок.

На базе Ладыжинской ТЭС (директор Е. К. Якушин) создан Биоэнергетический комплекс, в процессе работы которого была обеспечена гармонизация взаимосвязи технического и биологического объектов.

В состав биопродукционного блока Биоэнергетического комплекса входит первый в Украине промышленный цех массового культивирования микроводорослей, оборудованный фотореакторами трубчатого типа, объемом 10 тонн (рис. 3).

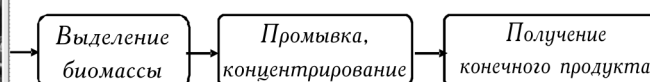
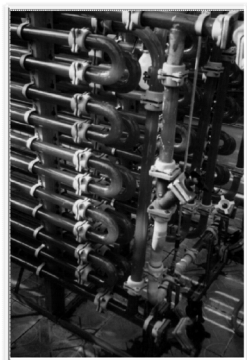
Цех промышленного воспроизводства карповых и других хозяйственно-ценных видов рыб включает регулируемые системы эколого-физиологической подготовки производителей, инкубации икры и выдерживания личинок, а также тепловодные выростные пруды.

Необходимо отметить, что данный период исследований можно охарактеризовать как наиболее масштабный в развитии биотехнологического направления в Институте гидробиологии НАН Украины, что подтверждено дипломами национальных и международных выставок.

В последующие годы из ключевых исследований, проводимых в отделе экологической физиологии водных животных, можно выделить: изучение пластичности, адаптивных и потенциальных возможностей водных животных к абиотическим и биотическим факторам водной среды; выявления закономерностей функционирования искусственных гидробиоценозов разного уровня сложности под воздействием экологических факторов в условиях

Индустриальное выращивание микроводорослей (хлорелла, сциенедесмус, спирулина) как пищевое, кормовое и техническое сырье

Микроводоросли используются:
как суспензия, паста, сухое вещество



Продуктивность:

хлорелла 100–140 г/м² сухого вещества в сутки;
спирулина 50–60 г/м² сухого вещества в сутки

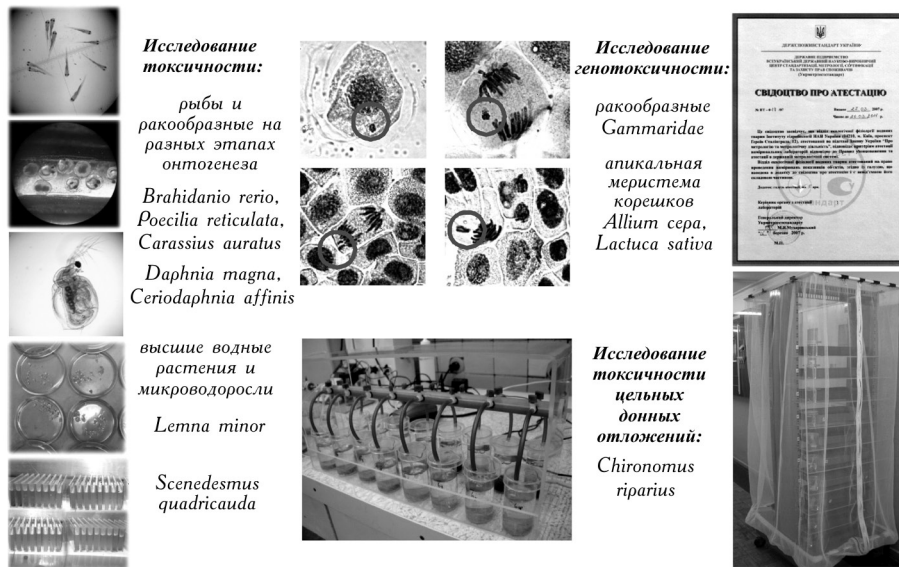
3. Промышленное выращивание микроводорослей в фотореакторах закрытого типа.

микрокосмов [8, 9, 18, 32]; разработка принципиально новой технологической схемы круглогодичного, полициклического культивирования гидробионтов различных трофических уровней, центральными элементами которой являются не только пищевые, но и метаболические взаимоотношения.

Учитывая то, что в искусственных условиях выращивания водных животных запрограммированное качество водной среды на разных этапах онтогенеза требует создания новых подходов оценки их состояния, в основу разработки данных методов были положены физиологические и цитогенетические реакции животных. Особое внимание было уделено поиску цитогенетических маркеров, которые характеризуют состояние организма при различных условиях выращивания — влияния культивационной среды.

Использование цитофизиологических и цитогенетических методов исследований дало возможность: определить готовность производителей рыб к овуляции при разных условиях их эколого-физиологической подготовки [3]; осуществить оценку токсичности и генотоксичности поверхностных и сточных вод [11], биологически активных препаратов сельскохозяйственного назначения (пестициды, удобрения и т. п.), вытяжек и цельных донных отложений [16, 17, 25], а также атмосферных осадков [14] и твердых отходов промышленности [7] (рис. 4).

В последнее время в биотехнологическом комплексе института большое внимание уделяется вопросам функционирования гидрофитных систем для восстановления качества природных и сточных вод [12, 13].



4. Методы исследования токсичности и генотоксичности поверхностных и сточных вод, донных отложений и твердых отходов, биологически активных препаратов сельскохозяйственного назначения.

Учитывая то, что одним из экономически эффективных способов очистки (доочистки) загрязненных вод является биологический метод с применением тропических видов водных растений, например *Eichornia crassipes* (водный гиацинт) [5], исследования по очистке сточных вод в биотехнологическом комплексе проводятся на разработанной нами гидрофитной системе вертикального типа [19]. В экспериментальной гидрофитной установке сточная вода подается в верхнюю часть модуля, проходит через корневую систему растений и расположенных на ней микроорганизмов, очищается и поступает в приемную камеру.

Наиболее успешным примером использования высших водных растений может быть разработанная и внедренная на предприятиях Украины гидрофитная система «закрытое биоплато гидропонного типа», которая используется для доочистки сточных вод после их физико-химической и биологической очистки (рис. 5).

Фундаментальные и прикладные аспекты создания и функционирования гидрофитных систем изложены в монографии «Природні і штучні біоплато фундаментальні і прикладні аспекти» (2012) [29].

В заключении необходимо отметить, что многолетние исследования механизмов адаптации водных животных к изменению условий окружающей среды, их потенциальных возможностей позволили разработать научно обоснованные подходы управления процессами роста, развития и размножения водных организмов в искусственно созданных системах. Фактически, создано новое направление экспериментальной гидробиологии, касающееся функционирования искусственных водных экосистем при взаимодействии



5. Гидрофитная система «закрытое биоплато гидропонного типа» для доочистки сточных вод.

вии абиотической и биотической компонент с использованием технической составляющей — системы жизнеобеспечения.

**

Охарактеризовано основні етапи формування і розвитку біотехнологічних досліджень у відділі екологічної фізіології водяних тварин і біотехнологічному комплексі. Проведено аналіз багаторічних фундаментальних і прикладних досліджень, які сприяли розвитку біотехнологічного напрямку в Інституті гідробіології НАН України.

**

The main stages of formation and development of biotechnology research in the department of environmental physiology of aquatic animals and biotechnology complex were described. The analysis of long-term fundamental and applied researches that promote development of biotechnology in the Institute of Hydrobiology of National Academy of Sciences of Ukraine was performed.

**

1. А. с. 1200868 СССР, МКИ⁴А 01 К 61/00. Способ выращивания рыб / В. Д. Романенко, Н. Ю. Евтушенко, Ю. Г. Крот, М. Ш. Гольдберг, И. Н. Балицкий, В. С. Пугин, Т. В. Плотникова. — № 3643049/28—13 ; заявл. 19.09.83; опубл. 30.12.85, Бюл. № 48.
2. А. с. 1355627 СССР, МКИ⁴С 12 М 1/02, А 01 G 31/02. Культиватор для микроводорослей / В. М. Ярославский, В. М. Самойлов, Ю. Г. Крот,

- А. М. Самойлов. — № 4005460/30—15 ; заявл. 02.01.86 ; опубл. 30.11.87, Бюл. № 44.
3. А. с. 1688813 СССР, МКИ⁵А 01 К 61/00. Способ определения готовности самок рыб к нересту / В. В. Архипчук, Л. С. Кипнис, Ю. Г. Крот, М. А. Фомовский. — № 4719094/13 ; заявл. 14.07.89 ; опубл. 07.11.91, Бюл. № 41.
 4. А. с. 1703682 СССР, МКИ⁵С 12 N 1/12. Способ культивирования микроводорослей / В. Д. Романенко, Л. А. Сиренко, В. Н. Козицкая, Ю. Г. Крот. — № 4677510/13 ; заявл. 20.02.89 ; опубл. 07.01.92, Бюл. № 1.
 5. *Василюк Т.П.* Дослідження процесів стічних вод на біофільтрах з водяними рослинами роду Ейхорнія // Меліорація і водне господарство. — 2008. — Т. 96. — С. 234—244.
 6. *Крот Ю.Г.* Поліциклічне цілорічне відтворення коропових риб у регульованих системах водо підготовки: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 1994. — 24 с.
 7. *Крот Ю.Г., Гончарова М.Т., Коновець І.М. та ін.* Застосування комплексного підходу оцінки токсичності твердих відходів картонно-тарних підприємств на організменному та клітинному рівнях // Матеріали 2-ї наук.-практ. конф. «Проблеми поводження з твердими побутовими відходами». — 2009. — С. 75—78.
 8. *Крот Ю.Г., Романенко В.Д., Киризія Т.Я., Бабич Г.Б.* Особливості функціонування дрейсено-гамаридного угруповання в умовах мікрокосму: Особливості формування якості водного середовища // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2010. — № 2 (43). — С. 290—293.
 9. *Крот Ю.Г., Романенко В.Д., Леконцева Т.І.* Особливості функціонування дрейсено-гамаридного угруповання в умовах мікрокосму: Структурно-функціональні характеристики угруповання дрейсен і гамарид // Там же. — С. 293—297.
 10. *Пат.* 27375 Україна, МПК⁶А 61 К 61/00, А 23 К 1/00. Спосіб культивування зоопланктону / В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот, Г. Ф. Недялков, А. І. Драган, М. В. Архипчук, Л. М. Драчук. — № 93005744 ; заявл. 02.06.93 ; опубл. 15.09.00, Бюл. № 4. — 2 с.
 11. *Пат.* 3962 Україна, МПК⁶G01N 33/483, 21/00. Спосіб визначення порогових величин впливу антропогенних факторів на клітини організмів / В. Д. Романенко, В. В. Архипчук, Л. С. Кипніс, Ю. Г. Крот, Т. О. Макарова, І. М. Драгунов. — № 4939205/SU ; заявл. 24.05.91 ; опубл. 27.12.94, Бюл. № 6. — 2 с.
 12. *Пат.* 54808 Україна, МПК⁷С 02 F 3/32. Спосіб глибокого доочищення стічних вод / В. Д. Романенко, О. М. Коцар, Ю. Г. Крот, М. Г. Ткачук. — № 2002043160 ; заявл. 17.04.02 ; опубл. 17.03.03, Бюл. № 3. — 2 с.
 13. *Пат.* 56423 Україна, МПК⁷С 02 F 3/34. Спосіб очищення стічних вод від рослинних масел / О. М. Коцар, Ю. Г. Крот, М. Г. Ткачук. — № 2002043161 ; заявл. 17.04.02 ; опубл. 15.05.03, Бюл. № 5. — 2 с.
 14. *Пат.* 63446 А Україна, МПК G 01 N 33/18. Спосіб контролю забруднення атмосфери через біотестування атмосферних опадів / Ю. Г. Крот,

- Г. М. Франчук, С. М. Табатабаї Маджд. — № 2003043550 ; заявл. 18.04.03 ; опубл. 15.01.04, Бюл. № 1. — 2 с.
15. Пат. 92415 Україна, МПК⁹A 01 K 61/00, 63/00, 61/04. Спосіб очистки води при вирощуванні риб в замкненій системі / В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот, С. М. Малина. — № а200905851 ; заявл. 09.06.09 ; опубл. 25.10.10, Бюл. № 20. — 2 с.
16. Пат. 101274 Україна, МПК⁶G 01 N 33/18. Спосіб оцінки токсичності завислих речовин в природних та стічних водах за допомогою бентосних гідробіонтів / В. Д. Романенко, М. Т. Гончарова, І. М. Коновець, Ю. Г. Крот, Л. С. Кіпніс. — № а201201059 ; заявл. 01.02.12 ; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5. — 2 с.
17. Пат. 87010 Україна, МПК⁶G 01 N 33/18. Спосіб оцінки токсичності, біодоступності та міграційної здатності речовин токсичної дії за допомогою гідробіонтів / В. Д. Романенко, М. Т. Гончарова, І. М. Коновець, Ю. Г. Крот, Л. С. Кіпніс. — № а201115714 ; заявл. 30.12.11 ; опубл. 27.01.14, Бюл. № 2. — 2 с.
18. Пат. 87011 Україна, МПК⁶G 01 N 33/18. Спосіб прогнозування змін у водних екосистемах за дії природних і антропогенних чинників шляхом використання мікрокосмів з реєстраційними камерами / В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот, С. М. Малина, Т. І. Леконцева, А. Б. Подругіна. — № а201201058; заявл. 01.02.12 ; опубл. 27.01.14, Бюл. № 2. — 2 с.
19. Пат. 95279 Україна, МПК⁶C 02 F 3/32, 11/02, 101/10, 101/20. Спосіб очистки стічних вод за допомогою вищих водяних рослин / Ю. Г. Крот, В. Д. Романенко, С. М. Малина, Т. М. Дьяченко. — № а201114500 ; заявл. 07.12.11 ; опубл. 25.12.14, Бюл. № 24. — 2 с.
20. Романенко В.Д. Физиология кальциевого обмена. — Киев: Наук. думка, 1975. — 169 с.
21. Романенко В.Д. Эколого-физиологические основы тепловодного рыбководства. — Киев: Наук. думка, 1983. — 140 с.
22. Романенко В.Д. Основи гідроекології. — Київ: Обереги, 2001. — 728 с.
23. Романенко В.Д., Арсан О.М., Соломатина В.Д. Кальций и фосфор в жизнедеятельности гидробионтов. — Киев: Наук. думка. 1982. — 152 с.
24. Романенко В.Д., Арсан О.М., Соломатина В.Д. Механизмы температурной акклимации рыб. — Киев: Наук. думка, 1991. — 192 с.
25. Романенко В.Д., Гончарова М.Т., Коновец И.Н. и др. Метод комплексной оценки токсичности воды и донных отложений с применением бентосных и планктонных организмов // Гидробиол. журн. — 2011. — Т. 47, № 6. — С. 32—42.
26. Романенко В.Д., Евтушенко, Н.Ю. Коцарь Н.И. Метаболизм углекислоты у рыб. — Киев: Наук. думка, 1980. — 180 с.
27. Романенко В.Д., Евтушенко Н.Ю., Крот Ю.Г., Гольдберг М.Ш. Методические рекомендации по применению пористых пластических материалов различной проницаемости в рыбководстве. — Киев: Ин-т гидробиологии АН УССР, 1988. — 48 с.
28. Романенко В.Д., Крот Ю.Г. Водяні ракоподібні — продуценти хитину // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2008. — № 2 (36). — С. 178—184.

29. Романенко В.Д., Крот Ю.Г., Киризії Т.Я. та ін. Природні і штучні біоплато: фундаментальні і прикладні аспекти. — К.: Наук. думка, 2012. — 112 с.
30. Романенко В.Д., Крот Ю.Г., Сиренко Л.А., Соломатина В.Д. Біотехнологія культивування гідробіонтів. — Київ: Наук. думка, 1999. — 264 с.
31. Романенко В.Д., Крот Ю.Г., Соломатина В.Д., Малина С.М. Біотехнологія цілорічного отримання молоді цінних видів риби в регульованих системах для відновлення біологічної продуктивності водних екосистем (Методичні рекомендації) — К.: Ін-т гідробіології НАН України, 2000. — 46 с.
32. Романенко В.Д., Крот Ю.Г., Старосила Є.В. Особливості функціонування дрейсено-гамаридного угруповання в умовах мікрокосму: Динаміка ряду мікробіологічних показників // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2010. — №2 (43). — С. 424—427.
33. Романенко В.Д., Фомовский М.А., Крот Ю.Г., Бабенко Ю.В. Установка для регистрации суточной динамики интенсивности питания рыб // Гидробиол. журн. — 1977. — Т 23, № 4. — С. 119—121.
34. Саутин Ю.Ю., Романенко В.Д. Влияние фотопериода и температуры на соматотропную и лактотропную активность гипофиза карпа // Журн. эвол. биохимии и физиологии. — 1982. — Т. 18, № 5. — С. 471—476.
35. Romanenko V.D., Krot J.G., Arkhipchuk V.V. Biotechnical approaches to Cyprinid fish cultivation in Ukraine // The Third World Fisheries Congress. Feeding the world with fish in the next Millennium. The balance between production and environment, 31 October — 3 November 2000, Beijing, P. R. China. — Thesis of reports. — Beijing, China, 2000. — P. 110—122.