ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 661.464

Л.А. Гайко
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ УРОЖАЙНОСТИ ГИДРОБИОНТОВ В ХОЗЯЙСТВАХ МАРИКУЛЬТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Прогноз урожайности моллюсков имеет большое значение для нормального функционирования хозяйств марикультуры. Существующие методы прогноза основываются на выявлении эмпирических взаимосвязей между биологическим и гидрологическим факторами. Предпринята попытка разработки методов долгосрочного прогноза урожайности моллюсков на основе агрометеорологических прогнозов. Рассматривается формирование новой концепции сельскохозяйственной метеорологии – морской, направленной на информационную поддержку хозяйств марикультуры с целью создания научно обоснованных методов долгосрочного прогноза урожайности моллюсков в хозяйствах марикультуры Приморья.

***Ключевые слова**: гидробионты, марихозяйства, моллюски, прогноз урожайности, спат приморского гребешка, схема прогноза.*

L.A. Gayko

MODERN APPROACHES TO FORECASTING OF PRODUCTIVITY OF AQUATIC ORGANISMS IN MARICULTURE FARMING WITH THE USE OF CLIMATE INFORMATION

Forecast the yield of mollusks is of great importance for the normal functioning of mariculture farming. Existing methods of prediction rely on identifying empirical relationships between biological and hydrological factors. The work attempted to develop methods of long-term forecast of the yield of mollusks on the basis of agrometeorological forecasts. Discusses the formation of a new concept of agricultural meteorology – marine aimed at information support of mariculture farming with the aim of creating evidence-based methods long-term forecast the yield of mollusks in the mariculture farms of Primorye.

***Key words**: the aquatic, marine, farm, mollusk, yield forecast, spat scallop, the scheme of the forecast.*

Введение

В настоящее время перспективным направлением исследования прибрежной зоны моря является поиск путей к увеличению биологических ресурсов. Одним из таких путей является марикультура – разведение морских животных и растений. Наличие закрытых бухт и заливов, высокая продуктивность прибрежных вод и их сравнительная чистота позволяют считать Приморский край регионом, весьма перспективным для развития марикультуры. Одним из традиционных объектов культивирования является приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis* (Jay), так как обладает высокими темпами роста и прекрасными вкусовыми качествами. В Приморье первое опытно-промышленное морское хозяйство для

товарного выращивания приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay) было создано в зал. Посьета в 1970 г. За основу культивирования приморского гребешка был принят японский опыт разведения моллюсков в естественной среде путем сбора личинок и последующего их подращивания на искусственных субстратах – коллекторах [1].

В Приморском крае выращивание гидробионтов в хозяйствах марикультуры в основном производится экстенсивным методом, т.е. в естественной среде, поэтому они находятся в большой зависимости от влияния факторов внешней среды, особенно климатических. Для рентабельного функционирования хозяйства марикультуры большое значение приобретает возможность планирования урожайности моллюсков, т. е. необходимо создание научно обоснованных методов прогноза урожайности.

Методы исследований

Существующие методики прогнозирования плотности спата приморского гребешка в основном разработаны на Экспериментальной морской базе «Посьет» и основаны на выявлении эмпирических зависимостей между биологическими и гидрологическими показателями, которые в различных комбинациях использовались при составлении прогнозов [2, 3, 4].

По заблаговременности все прогнозы, применяемые в марикультуре для предсказывания урожайности, можно разделить на три группы: долгосрочные, краткосрочные и текущие. *Долгосрочные* прогнозы имеют заблаговременность до четырех месяцев и составляются на основе многолетних биологических, гидрометеорологических и фенологических наблюдений. Точность долгосрочных прогнозов зависит от длительности ряда наблюдений и объема собранного многолетнего материала. *Краткосрочные* прогнозы охватывают период в несколько суток до начала нереста. Для составления такого прогноза из природных популяций делается выборка половозрелых моллюсков и производится биологический анализ. *Текущие* прогнозы выполняются после начала оседания личинок на коллекторы. В случае появления в планктоне новых генераций личинок можно рекомендовать дополнительный сбор спата или предлагать меры, предохраняющие коллекторы от избыточного оседания.

Такой подход к прогнозированию плотности спата приморского гребешка, основанный на выявлении эмпирических зависимостей, целиком локален в пространстве и времени. При этом основное внимание уделяется поиску прямых эмпирических связей между средой и объектом, и используются общеизвестные методы формального статистического анализа. Но применение прогноза только в этом аспекте значительно ограничивает возможности гидрометеорологического обслуживания хозяйств марикультуры и не позволяет составить прогнозы с большой заблаговременностью. Для решения задачи прогнозирования урожайности моллюсков необходим принципиально новый подход, основанный на использовании для хозяйств марикультуры в прогностических целях климатической информации, которая давно применяется при составлении прогнозов в агрометеорологии [5, 6].

Результаты и их обсуждение

Выбор метода прогноза. Настало время смены парадигм, новая методология должна базироваться на моделировании причинно-следственных связей между гидрометеорологическими условиями и продуктивностью марихозяйств, т.е. необходимо соединение описательного гидробиологического подхода и агрометеорологического, с присущей ему комплексностью и глубиной анализа явлений и процессов на количественной основе. Основными методами, с помощью которых ведутся разработки прогностических моделей «погода–урожай» в сельском хозяйстве, являются статистические, динамико-статистические, физико-статистические и синоптико-статистические [7].

В данной работе применен принципиально новый подход к прогнозированию урожайности молоди приморского гребешка. Предлагается новое направление агрометеороло-

гии – ***морское***, которое изучает влияние погодных условий и состояния морской среды на объекты культивирования. Урожайность морских культур, так же, как и сельскохозяйственных, является функцией большого количества факторов, поэтому исходная информация должна содержать необходимое оптимальное количество информативных предикторов. Так же, как агрометеорология, её морское направление базируется на методах математической статистики и теории вероятности. Статистические методы основаны на оценке как синхронных, так и асинхронных корреляционных зависимостей между значениями различных гидрометеорологических элементов и объектом.

Предлагаемый метод прогноза урожайности учитывает реально существующие связи между погодой и особенностями атмосферной циркуляции в предшествующий период, с одной стороны, и урожайностью, формирующейся под влиянием этой погоды, с другой стороны. Такой подход к проблеме прогнозирования нами заимствован из агрометеорологии [8, 9]. В долгосрочном прогнозировании урожаев в морском фермерстве, помимо погодных условий и состояния морской среды, необходимо учитывать и факторы, связанные с биологическими особенностями объектов культивирования и технологии их выращивания. И здесь с успехом могут быть применены физико-статистические методы, используемые для прогноза урожайности сельскохозяйственных культур и позволяющие составлять прогнозы урожайности биологических объектов различной заблаговременности.

В свою очередь, синоптико-статистические методы прогноза урожайности сельскохозяйственных культур разрабатывались на основе методов долгосрочных прогнозов погоды [10], учитывающих множество факторов, поэтому целесообразно строить многопараметрические схемы прогноза.

Временной ряд урожайности как в сельскохозяйственном производстве, так и в марикультуре является нестационарным, так как колебания урожайности обусловлены уровнем агротехники, долгопериодными колебаниями климата и т.п. Как любой нестационарный процесс он может быть представлен в виде суммы двух основных составляющих – неслучайной и случайной. Известный агрометеоролог А.Н. Полевой [5] предложил в качестве неслучайной составляющей ряда урожайности E_t использовать трендовую, обусловленную культурой агротехники и долгопериодными колебаниями климата; а в качестве случайной составляющей урожайности ΔP_t – отклонения урожая от тренда, обусловленные преимущественно погодой конкретного года t:

$$P_t = E_t \pm \Delta P_t. \qquad (1)$$

Это предположение легло в основу разработанного нами метода долгосрочного прогноза урожайности гребешка.

Выбор наиболее информативных предикторов. На первом этапе создания научно обоснованной модели долгосрочного прогноза урожайности проводится подбор наиболее информативных предсказателей, влияющих на биологический объект и на технологию его выращивания. Предикторы входят в прогностические схемы и являются элементами единой физической системы. Взаимосвязь между абиотическими факторами и урожаем можно схематически представить в таком виде: влияние гелиофизических факторов на Землю → взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности (гидросфера и литосфера) над Дальним Востоком → тип погоды в Приморье → микроклимат → гидрологический режим прилегающей акватории → урожайность.

При разработке метода прогноза урожайности приморского гребешка в качестве предиктанта использовалась урожайность моллюсков. Под термином «урожайность» понимается количество осевшей на 1 м^2 сетного коллектора молоди (спата) приморского гребешка, выраженное в экземплярах на квадратный метр.

Разработка модели прогноза. На втором этапе исследуется временной ряд урожайности марихозяйства. По аналогии с агрометеорологией, урожайность моллюсков *Pt* рассматривается как сумма двух основных составляющих: неслучайной, или трендовой *Et*, обусловленной культурой агротехники и долгопериодными колебаниями климата, и случайной составляющей ΔP_t, которая определяется погодными особенностями конкретного года *t* (1).

На основании анализа распределения отклонений от тренда весь исходный ряд урожайности условно делится на три группы лет: высокоурожайные (выше тренда), низкоурожайные (ниже тренда) и среднеурожайные (около тренда).

Выделение неслучайной, или трендовой, составляющей урожайности производится при помощи аналитических функций. Для расчета случайной составляющей при построении прогностической схемы за основу была взята трехуровенная модель, которую успешно применила Н.М. Пестерева для прогноза урожая риса в Приморье [9]. Подобный подход применительно к марикультуре был использован автором впервые.

Разработанная автором модель прогноза урожая моллюсков ΔP учитывает одновременно состояние морской среды, приземных слоев атмосферы, тропосферную циркуляцию, циркуляцию в стратосфере и гелиофизические факторы:

$$\Delta P = a_1 (A_1, A_2) + a_2 B + a_3 (C_1, C_2, C_3) + a_4, \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3 и a_4 – коэффициенты уравнения; $A_1, A_2, B, C_1, C_2, C_3$ – предикторы, учитывающие: *A* – факторы, влияющие на весь земной шар или Северное полушарие (солнечная активность, солнечные и лунные затмения, положение и интенсивность циркумполярного вихря); *B* – факторы, влияющие на Дальневосточный регион (формы атмосферной циркуляции, типы синоптических процессов); *C* – факторы, влияющие непосредственно на район культивирования (температура воды и воздуха, солёность, ветер, длительность ледового периода, характеристики различных биологических периодов: даты начала этих периодов, их продолжительность и т.д.).

Схемы прогноза строились для марихозяйства, расположенного в бухте Миноносок, зал. Посьета. На основании анализа особенностей гидрометеорологического режима акватории зал. Посьета, термогалинных условий различных периодов годового цикла развития гребешка, литературного анализа абиотических факторов, влияющих на приморский гребешок, и с учетом того, что прогностическая схема должна быть многоуровенной, был проведен качественный отбор возможных предсказателей. Полученные предикторы были сгруппированы по группам:

Группа I (A) – космофизические: солнечная активность (числа Вольфа), солнечные и лунные затмения, солнечное сияние; *циркуляция стратосферы*: положение и интенсивность циркумполярного вихря.

Группа II (B) – синоптические: формы атмосферной циркуляции, типы синоптических процессов.

Группа III (C) – метеорологические: аномалии температуры воздуха, давление воздуха, сумма атмосферных осадков за весенне-летний период, скорость ветра, число дней с различными типами погоды; *гидрологические*: аномалии поверхностной температуры и солености морской воды, продолжительность ледового периода; *биологические*: продолжительность периодов жизненного циклов гребешка (периоды нереста, оседания личинок, гаметогенеза); термогалинные характеристики этих периодов; *комплексные*: сумма градусодней воды за отдельные месяцы, разность температур воды и воздуха в теплый и холодный периоды, а также по отдельным месяцам; коэффициенты вариации; суммы градусод-

ней и значений солености, т.е. суммы среднесуточных значений элементов для каждого из четырех периодов от даты начала периода до даты его окончания.

На рис. 1 представлена блок-схема физико-статистического прогноза урожайности спата приморского гребешка. Блок-схема состоит из блока исходной информации, блока преобразования и блока прогноза. Основные положения исследования изложены в работе автора [3].

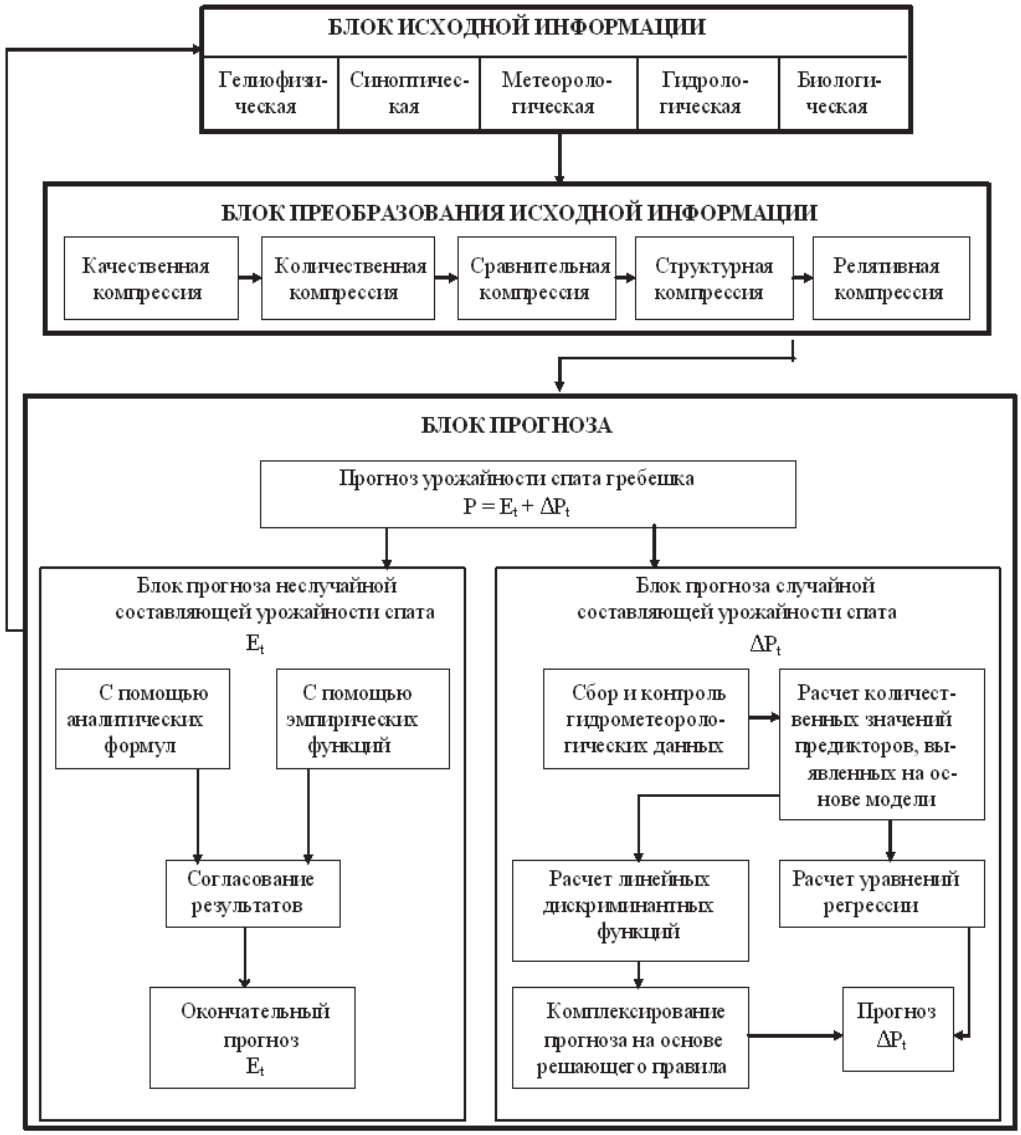

Рис. 1. Блок-схема физико-статистического прогноза урожайности спата приморского гребешка
Fig. 1. The block diagram of the physico-statistical forecast of yield of Spata scallop

Таким образом, для создания конкретной прогностической физико-статистической модели и расчетного способа прогноза урожайности количества спата приморского гребешка в марихозяйстве необходимо выполнить следующие этапы:

- выявить особенности влияния факторов внешней среды на преднерестовый, нерестовый и личиночный периоды в годы с высоким и низким урожаями;
- провести формализацию представленной схемы прогноза;
- проверить работу схемы на фактическом материале;

- отобрать наиболее оптимальные схемы прогноза.

Поскольку алгоритм схемы прогноза основан на статистических методах с учетом гелиофизических, синоптических и гидрометеорологических особенностей, то правильнее её назвать физико-синоптико-статистической.

Основой для принятия решений в хозяйствах марикультуры (определение сроков выставления и количества коллекторов, притапливание установок и т.д.) могут являться долгосрочные прогнозы погоды, прогнозы урожайности моллюсков и специализированные (связанные с биологическими параметрами) прогнозы.

Для наглядности и маневренности в принятии решений согласно полученным прогнозам рекомендуется составлять гидрометеоролого-технологические схемы (рис. 2).

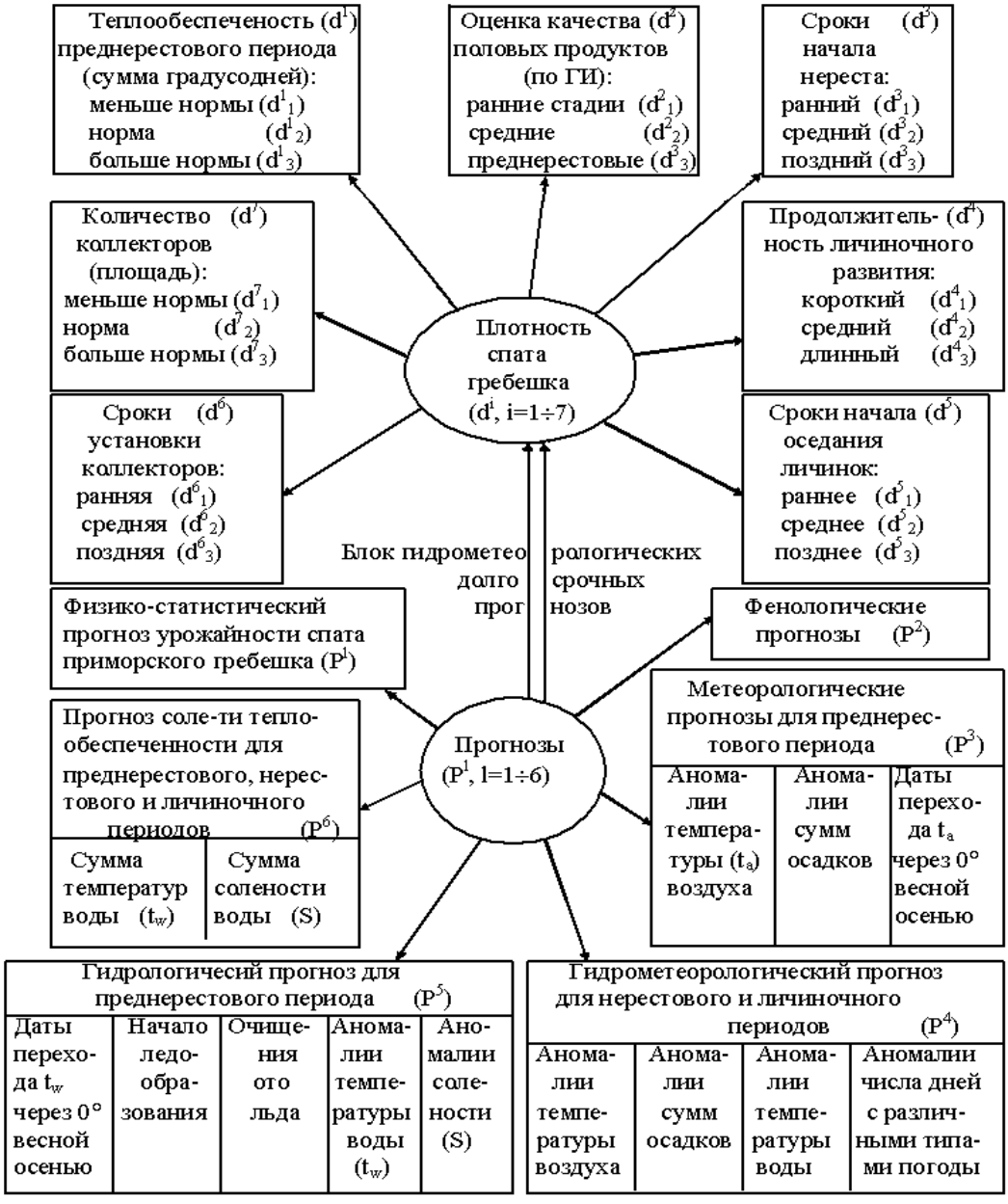

Рис. 2. Гидрометеоролого-технологическая блок-схема хозяйственных решений d^i и гидрометеорологических долгосрочных прогнозов P^i, необходимых для их принятия

Fig. 2. Hydrometeorologi-process flow diagram of economic decisions di and hydrometeorological long-term forecasts Pi, necessary for their adoption

Важным прикладным направлением морской агрометеорологии является создание систем различного уровня для информационного обслуживания марихозяйств, составление гидрометеоролого-технологических блок-схем хозяйственных решений [11], гидрометеорологических прогнозов различной заблаговременности (до 9 месяцев), необходимых для их принятия, и рекомендации по выбору хозяйственных решений, связанных с производством приморского гребешка.

Выводы

Таким образом, морское направление агрометеорология – это наука, которая изучает реально существующие связи между абиотическими факторами (гелиофизическими параметрами, атмосферной циркуляцией, параметрами приземных слоёв атмосферы, погодой, параметрами водной среды и т. п.) в предшествующий период и урожайностью культивируемых культур, формирующейся под влиянием этих условий, на основании которых строятся прогностические модели.

Основными методами, с помощью которых ведутся разработки прогностических моделей «погода–урожай», являются статистические, динамико-статистические, физико-статистические и синоптико-статистические.

При разработке метода прогноза урожайности приморского гребешка в качестве предиктанта использовалась урожайность моллюсков, а в качестве предикторов – факторы, влияющие как на весь земной шар (или Северное полушарие); так и на Дальневосточный регион и непосредственно на район культивирования.

Полученные результаты позволяют надеяться на то, что данный метод прогноза получит применение в марихозяйствах.

Список литературы

1. Ито С. Разведение морского гребешка у охотоморского побережья о. Хоккайдо. Изд. ”Нихон Суйсан Сиггэн Кекай”: пер. с яп. № 54598. Владивосток, 1966. 48 с.

2. Белогрудов Е.А. Биология и культивирование приморского гребешка // Культивирование тихоокеанских беспозвоночных и водорослей. М. : Агропромиздат, 1987. С. 66–71.

3. Гайко Л.А. Марикультура: прогноз урожайности с учетом воздействия абиотических факторов. Владивосток : Дальнаука, 2006. 204 с.

4. Раков В.А. Рост и выживаемость личинок тихокеанской устрицы (*Crassostrea gigas*) в планктоне залива Посьета (Японское море) // Изв. ТИНРО. 1979. Т. 103. С. 79–85.

5. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л. : Гидрометеоиздат, 1988. 176 с.

6. Уланова Е.С., Сиротено О.Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Л. : Гидрометеоиздат, 1968. 198 с.

7. Жуковский Е.Е., Сепп Ю.В., Тооминг Х.Г. Вероятностные прогнозы эталонных урожаев // Метеорология и гидрология. 1990. № 1. С. 95–102.

8. Пасов В.М. Путь увеличения заблаговременности составления прогноза урожая сельскохозяйственных культур // Тр. ИЭМ. 1971. Вып. 22. С. 82–88.

9. Чирков Ю.И., Пестерева Н.М. Использование ресурсов климата и погоды в рисоводстве. Л. : Гидрометеоиздат, 1990. 160 с.

10. Свинухов Г.В. Синоптико-статистические методы долгосрочных прогнозов погоды на Дальнем Востоке // Тр. ДВНИГМИ. 1977. Вып. 65. 168 с.

11. Жуковский Е.Е. Метеорологическая информация и экономические решения. Л. : Гидрометеоиздат, 1981. 302 с.

***Сведения об авторе**:* Гайко Лариса Афанасьевна, кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: gayko@yandex.ru.