

12. Holland S. Nontuberculous mycobacteria // Am. J. Med. Sci. – 2001. – Vol. 321. – P. 49–55.
13. Jenkins P.A. Nontuberculous mycobacteria and disease // Europ. J. resp. Dis. – 1981. – Vol. 62. – P. 69–71.
14. Marros T., Dally C. Epidemiology of human pulmonary infection with nontuberculous mycobacteria // Clin. Chost. Med. – 2002. – Vol. 23. – P. 553–567.



УДК 556:574.583

Ю.А. Пономарева

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС

На основе многолетних наблюдений рассмотрена межгодовая динамика фитопланктона и химического состава воды р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС.

Ключевые слова: р. Енисей, нижний бьеф, состав воды, фитопланктон, химический состав.

Yu.A. Ponomareva

WATER CHEMICAL COMPOSITION AND PHYTOPLANKTON STRUCTURE IN THE TAIL-WATER OF KRASNOYARSK HYDROPOWER STATION

The inter-annual dynamics of the phytoplankton and the chemical composition of the Yenisey River tail-water of Krasnoyarsk hydropower station are considered on the basis of long-term observations.

Key words: the Yenisey River, tail-water, phytoplankton, chemical composition.

Введение. Енисей – главная река Сибири, образующаяся слиянием рек Большого и Малого Енисея в Республике Тыва у города Кызыла. Территория бассейна Енисея расположена внутри огромного Евразийского материка в большом удалении от морских и океанических влияний. Детальное изучение фитопланктона и химического состава Енисея после зарегулирования в 1967 году русла в верхнем течении реки проводилось разными авторами [1–7].

Целью настоящей работы было дополнение имеющихся на сегодняшний день сведений и характеристика современного состояния р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС.

Материалы и методы. Несмотря на то что река является динамичной средой и при транзите по территории города под влиянием многокомпонентного воздействия в ней происходят изменения состава воды, для изучения межгодовой динамики гидрохимических и гидробиологических параметров воды решено выбрать стационарный участок Енисея. Так, в период с 2008 по 2011 год исследования р. Енисей проводили в 40 км ниже плотины Красноярской ГЭС в точке с координатами 55°98' с.ш., 92°78' в.д.

Сбор и обработку проб фитопланктона осуществляли стандартными методами [8–11]. Концентрирование речной воды, отбираемой ежедневно, осуществляли фильтрационным методом на мембранных фильтрах марки Владипор типа МФАС-ОС-3 (диаметр пор 0,80 мкм). Биомассу определяли счетно-объемным методом в камере Горяева объемом 0,0009 см³ при общем увеличении $\times 400$, а для мелких форм – $\times 1000$. Для оценки видового разнообразия использовали индекс Шеннона H_b , рассчитанный по биомассе фитопланктона. Сопоставление видового состава в различные годы производилось по экологическому коэффициенту флористического сходства Серенсена [10, 11]. Индексы сапробности рассчитывали по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека [12–14]. Степень загрязнения, классы качества воды и уровень трофности реки определяли в соответствии с [15, 16].

Наряду с исследованием водорослей проводили химические наблюдения согласно общепринятым в гидрохимии методам [17, 18]. Мутность, цветность, рН, температура воды, аммонийный азот определялись ежедневно; минерализация, общая жесткость, перманганатная окисляемость, растворенный кислород, неф-

тепродукты, железо, хлориды – ежемесячно, остальные химические показатели – ежеквартально. В качестве критериев при оценке качества воды использовали предельно допустимые концентрации (ПДК), нормируемые для вод как хозяйственно-бытового [19], так и рыбохозяйственного значения [20].

Результаты исследований. До зарегулирования верхний участок Енисея (от истока р. Большой Енисей до устья р. Ангары) относился к олиготрофному водотоку, где закономерности формирования гидрохимического режима определялись климатическими условиями бассейна и режимов водного стока. Содержание биогенных элементов было низким, минерализация воды в течение года колебалась в пределах от 65 до 270 мг/л [21, 22]. Численность и биомасса фитопланктона эпизодически увеличивались до 0,16 млн кл/л и 63 мг/м³ соответственно [2].

Химический состав воды. В первые годы функционирования Красноярского водохранилища диапазон колебания минерализации воды в верхнем и нижнем бьефах стал меньше и составил 81–140 мг/л и 101–137 мг/л соответственно [3]. В настоящее время в нижнем бьефе амплитуда колебаний минерализации воды составляет 59,4–117,0 мг/л (в среднем 84,7±1,4 мг/л) (табл. 1). Сглаженные внутригодовые ее изменения в течение года обусловлены влиянием вышерасположенного по течению водохранилища, где аккумулируются маломинерализованные снеговые воды.

Таблица 1

Основные гидрохимические характеристики р. Енисей в нижнем бьефе Красноярской ГЭС (2008–2011 гг.)

Показатель	2008	2009	2010	2011
1	2	3	4	5
<i>мг/л</i>				
Минерализация	<u>59,40–91,80</u>	<u>75,20–117,00</u>	<u>72,00–100,00</u>	<u>70,40–99,60</u>
	82,58±2,51	89,03±3,42	82,37±2,43	84,77±2,22
SO ₄ ²⁻	<u>5,83–10,20</u>	<u>5,38–9,81</u>	<u>6,93–16,10</u>	<u>4,79–5,42</u>
	7,73±0,91	7,47±0,93	13,51±2,20	5,08±0,13
Cl ⁻	-	<u>2,07–2,25</u>	<u>0,99–2,33</u>	<u>0,52–2,74</u>
	-	2,16±0,09	1,66±0,67	0,86±0,20
Ca ²⁺	<u>16,80–20,10</u>	<u>15,70–20,50</u>	<u>15,80–24,60</u>	<u>16,60–20,50</u>
	18,45±0,68	18,18±0,38	19,72±0,75	18,96±0,36
Mg ²⁺	-	<u>2,40–2,80</u>	<u>2,30–2,70</u>	<u>2,20–3,70</u>
	-	2,70±0,10	2,58±0,09	2,75±0,33
N-NO ₃ ⁻	<u>0,75–0,98</u>	<u>0,78–0,89</u>	<u>0,74–0,87</u>	<u>0,55–0,72</u>
	0,86±0,05	0,84±0,03	0,82±0,03	0,66±0,04
N-NH ₄ ⁺	<u>0,09–0,16</u>	<u>0,02–0,14</u>	<u>0,02–0,05</u>	<u>0,03–0,06</u>
	0,13±0,01	0,08±0,01	0,04±0,002	0,04±0,003
Кремний	<u>1,49–2,40</u>	<u>2,03–3,24</u>	<u>2,35–3,02</u>	<u>1,94–2,44</u>
	2,04±0,19	2,60±0,27	2,63±0,14	2,17±0,12
Фториды	<u>0,076–0,130</u>	<u>0,073–0,100</u>	<u>0,067–0,120</u>	<u>0,072–0,094</u>
	0,094±0,012	0,088±0,006	0,099±0,016	0,081±0,006
Нефтепродукты	<u>0,006–0,020</u>	<u>0,006–0,020</u>	<u>0,006–0,017</u>	<u>0,006–0,010</u>
	0,009±0,002	0,013±0,002	0,010±0,002	0,007±0,0004
Мутность	<u>0,81–1,12</u>	<u>0,75–1,54</u>	<u>0,78–1,96</u>	<u>0,74–1,33</u>
	0,98±0,03	1,07±0,08	1,13±0,10	1,00±0,01
Цветность, град	<u>6,80–11,74</u>	<u>6,96–10,26</u>	<u>9,24–13,33</u>	<u>7,61–9,74</u>
	9,02±0,52	8,81±0,33	10,36±0,35	8,88±0,18
Общая жесткость, °Ж	<u>1,18–1,40</u>	<u>1,15–1,31</u>	<u>0,94–1,75</u>	<u>1,04–1,29</u>
	1,23±0,02	1,22±0,02	1,29±0,07	1,17±0,03

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Температура, °С	<u>1,86–14,00</u>	<u>2,81–13,50</u>	<u>2,30–11,00</u>	<u>2,05–13,00</u>
	6,56±1,07	6,76±0,91	5,41±0,83	6,17±0,97
рН	<u>7,22–8,40</u>	<u>7,00–8,35</u>	<u>6,98–7,95</u>	<u>7,22–7,88</u>
	7,70±0,07	7,61±0,06	7,59±0,04	7,70±0,04
<i>мг О₂/л</i>				
Растворенный кислород	<u>10,00–13,36</u>	<u>9,30–14,00</u>	<u>9,80–12,80</u>	<u>9,30–13,40</u>
	12,29±0,28	11,52±0,47	11,53±0,27	11,54±0,38
БПК ₅	<u>0,90–3,00</u>	<u>0,70–0,90</u>	<u>0,90–1,40</u>	<u>0,90–1,20</u>
	1,53±0,50	0,78±0,05	1,20±0,11	1,05±0,06
<i>мг О/л</i>				
Перманганатная окисляемость	<u>1,95–3,08</u>	<u>2,28–3,59</u>	<u>2,30–5,29</u>	<u>2,39–3,96</u>
	2,52±0,11	2,66±0,10	3,52±0,23	2,95±0,15
ХПК	<u>5,90–7,90</u>	<u>5,20–7,90</u>	<u>5,30–8,50</u>	<u>5,80–10,60</u>
	6,48±0,48	6,15±0,60	7,40±0,73	8,33±1,07

Примечание: «-» – данные отсутствуют; над чертой – предельные, под чертой – средние значения концентраций.

Из основных ионов, определяющих степень насыщения воды неорганическими (минеральными) веществами, преобладали ионы кальция (см. табл. 1). В 2011 году концентрация сульфатов и хлоридов была наименьшей, что, возможно, связано с уменьшением концентраций главных ионов в водохранилище и основных притоках. Вода р. Енисей в нижнем бьефе характеризуется нейтральной и слабощелочной реакцией среды (рН=6,98–8,40), по классификации [18] жесткость воды соответствует категории «мягкая». Максимальный прогрев воды в реке в период наблюдений зарегистрирован в августе (14,0 °С), до зарегулирования – в июле (16,6 °С) [21, 23]. В течение 2008–2011 гг. концентрации биогенных элементов низкие (см. табл. 1). За период наблюдений N-NO₂ аналитически не обнаруживался. Концентрации фосфатов (PO₄) и фосфора общего (P_{общ}) на исследуемом участке реки составляли 11–20 и 4–32 мкг/л соответственно.

Кислородный режим водотока характеризуется как благополучный. Межгодовое распределение растворенного кислорода в воде стабильное. Содержание органических веществ по бихроматной окисляемости (ХПК) в течение четырех лет изменялось от 5,20 до 10,60 мг О/л с увеличением данного показателя к 2011 году в 1,3 раза, что может быть отражением усилившейся антропогенной нагрузки. В межгодовом аспекте с 2008 по 2011 г. концентрация нефтепродуктов остается в пределах ПДК, при этом отмечается увеличение концентрации нефтепродуктов в 2009 году. В этом же году значительно снизился показатель БПК₅ (см. табл. 1).

Из общей выборки результатов исследований по металлам следует отметить железо, медь, цинк и марганец, поскольку данные показатели имели значения близкие либо выше ПДК рыбохозяйственных водоемов (табл. 2). Содержание железа, марганца не выходило за пределы ПДК. Концентрации остальных металлов превышали ПДК для воды рыбохозяйственного значения (особенно медь).

Таблица 2

Межгодовая динамика концентраций металлов в воде р. Енисей, мкг/л

Элемент	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	ПДК	
					ХБ	РХ
Железо	<u>20,0–61,0</u>	<u>25,0–87,0</u>	<u>21,0–84,0</u>	<u>30,0–92,0</u>	300	100
	48,0±9,5	61,4±12,9	57,6±11,7	44,1±4,9		
Медь	-	<u>1,2–2,4</u>	<u>1,1–2,9</u>	<u>1,6–3,1</u>	1000	1
	-	1,7±0,3	1,8±0,6	2,1±0,4		
Цинк	<u>1,8–16,0</u>	<u>10,0–18,0</u>	<u>3,6–5,1</u>	<u>2,7–15,0</u>	5000	10
	6,8±4,6	13,0±2,5	4,5±0,5	6,6±2,9		
Марганец	<u>2,2–7,4</u>	<u>5,7–7,9</u>	<u>4,2–6,0</u>	<u>4,2–6,1</u>	100	10
	5,4±1,2	7,2±0,6	4,9±0,6	4,9±0,6		

Примечание: «-» – данные отсутствуют; над чертой – предельные, под чертой – средние значения концентраций элементов; ХБ – хозяйственно-бытовое; РХ – рыбохозяйственное значение.

Динамика фитопланктона. В фитопланктоне р. Енисея обнаружено 99 таксонов водорослей ниже рода, относящихся к 6 отделам, 8 классам, 15 порядкам, 28 семействам и 47 родам. Особую роль в формировании фитоценоза исследуемого участка реки на протяжении четырех лет наблюдений играли диатомовые и зеленые водоросли (88% от общего числа видов). Основу видового богатства диатомовых водорослей при высокой скорости течения составляли донные формы: род *Navicula* включал 14 таксонов, *Gomphonema* и *Cymbella* по 7 и 5 таксонов соответственно. В отделе зеленых наиболее представлен порядок *Chlorococcales*, на долю которого приходится 64% от числа видов отдела. Отделы синезеленые, динофитовые, золотистые и криптофитовые немногочисленны и характеризовались небольшим видовым разнообразием. В сумме они составляли 12% (12 видов).

Проанализировав таксономический состав альгофлоры планктона за четыре года наблюдений, установили, что межгодовые изменения таксономического состава фитопланктона незначительны. Это подтверждается высокими коэффициентами флористического сходства, которые изменялись от 60 (для 2008–2009 г.) до 87% (для 2009–2010 г.). Доминирующими видами, в независимости от сезона, из диатомей являлись *Diatoma vulgare* Bory, *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Melosira varians* Ag., *Nitzschia dissipata* (Kutz.) Grun.; из синезеленых – *Chamaesiphon curvatus* (Borzi) Nordst. По частоте встречаемости (более 50%) на исследуемом участке выделяются: в 2008 году *F. crotonensis* Kitt. (50%), в 2009 году – *Asterionella formosa* Hass. (83%), в 2010 и 2011 годах – *Cyclotella radiosa* (comta) (Grun.) (83 и 69% соответственно).

Степень сложности альгоценозов по индексу Шеннона варьировала от $2,40 \pm 0,18$ (2008 г.) до $3,10 \pm 0,10$ (2011 г.) (табл. 3). Высокие значения H_b зарегистрированы в весенне-летний период ($2,94 \pm 0,13$), а более низкие характерны для сообществ зимнего планктона ($2,01 \pm 0,24$). В этот период в биомассе альгоценоза доминировали 1–2 таксона.

Проведенный эколого-географический анализ альгофлоры планктона показал, что в зависимости от места обитания основная часть водорослей – это планктонно-бентосные формы (38%). В равном количестве представлены типично планктонные (27%) и бентосные формы (26%). Подавляющее большинство зарегистрированных водорослей (90%) имеют широкое географическое распространение (относятся к видам-космополитам). Виды-индифференты по отношению к проточности преобладали (70%) над всеми остальными. Среди показателей температурных условий также преобладали индифференты (76%). По отношению к активной реакции среды (pH) основная часть водорослей, для которых известна эта характеристика, представлена или видами-индифферентами, или обитателями щелочных вод (алкалифилами) [12].

Таблица 3

Межгодовая динамика численности (N, млн кл/л), биомассы (B, мг/л), индексов сапробности (S) и видового разнообразия (H_b) фитопланктона в нижнем бьефе Красноярской ГЭС (2008–2011 гг.)

Показатель	2008	2009	2010	2011
N	<u>0,07–5,53</u>	<u>0,19–12,25</u>	<u>0,21–9,89</u>	<u>0,42–10,34</u>
	1,12±0,19	0,94±0,27	1,23±0,27	1,25±0,26
B	<u>0,11–9,90</u>	<u>0,13–23,00</u>	<u>0,07–9,17</u>	<u>0,11–10,88</u>
	1,67±0,27	1,57±0,52	1,18±0,25	1,46±0,28
S	<u>1,49–1,90</u>	<u>1,23–2,33</u>	<u>1,33–2,80</u>	<u>1,42–2,45</u>
	1,74±0,06	1,68±0,03	1,86±0,05	1,95±0,03
H_b	<u>1,77–2,83</u>	<u>2,33–3,40</u>	<u>1,84–3,09</u>	<u>2,36–3,52</u>
	2,40±0,18	2,75±0,15	2,69±0,18	3,10±0,10

Примечание: над чертой – предельные, под чертой – среднегодовые значения показателей.

Численность фитопланктона за период с 2008 по 2011 год изменялась от 0,07 (январь 2008 г.) до 12,25 (июнь 2009 г.) млн кл/л при среднем значении $1,14 \pm 0,26$ млн кл/л. Биомасса варьировала от 0,7 (январь 2010 г.) до 23,00 (июнь 2009 г.) мг/л, в среднем составляя $1,46 \pm 0,28$ мг/л (см. табл. 3). В межгодовой динамике численности планктона отмечается незначительное увеличение данного показателя от 1,12 (2008 г.) до 1,26 млн кл/л (2011 г.). Максимальное значение биомассы фитопланктона, наоборот, зарегистрировано в 2008 году ($1,55 \pm 0,27$ мг/л) с последующим его понижением к 2011 году ($1,44 \pm 0,28$ мг/л). Увеличение численности водорослей на фоне более медленного роста их биомассы свидетельствует о преобладании в фитопланктоне мелкоклеточных видов, что в свою очередь наблюдается при увеличении антропогенной нагрузки [9]. Трофический статус р. Енисей на исследуемом участке по биомассе фитопланктона [15] в 2008–2011 годах соответствует мезотрофному типу.

От общего количества видов индикаторы сапробности составляли 79%. Среди них преобладали виды мезосапробионты (58%). На долю водорослей –показателей низкой степени органического загрязнения (от ксено-олиго- до олиго-бетамезосапробионтов) приходилось 28%. Вдвое меньше отмечено видов альфамезосапробионтов и полисапробов (14%), толерантных к значительному органическому загрязнению. Доминирование в видовом составе водорослей группы β -мезосапробионтов определяет и качество воды р. Енисей. Так, за период исследований индексы сапробности (ИС) колебались в пределах от 1,23 (март 2009 г.) до 2,80 (апрель 2010 г.). Среднее значение ИС за период исследования, соответствующее β -мезосапробной зоне [15, 16], составляло $1,84 \pm 0,02$ (см. табл. 3). Итоговая ранговая оценка показала, что в целом качество воды р. Енисей в нижнем бьефе, с учетом индекса сапробности и биомассы фитопланктона, определяется β -мезосапробной зоной, 3-м классом качества – удовлетворительно чистая, достаточно чистая.

Заключение. В настоящее время в нижнем бьефе Красноярской ГЭС наблюдается низкая внутригодовая вариабельность значений минерализации воды. В многолетней динамике сульфатов и хлоридов отмечена тенденция уменьшения их концентрации, что, возможно, связано со снижением концентраций главных ионов в водохранилище и основных притоках. Качество воды р. Енисей по всем химическим показателям удовлетворяет требованиям для воды водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования, но при этом по ряду показателей (цинку и меди) не соответствует требованиям для воды водных объектов рыбохозяйственного значения. В фитопланктоне на сегодняшний момент обнаружено 99 видов водорослей. По биомассе фитопланктона трофический статус р. Енисей на исследуемом участке соответствует мезотрофному типу. Качество воды, с учетом индекса сапробности и биомассы фитопланктона, определяется β -мезосапробной зоной, 3-м классом качества – удовлетворительно чистая, достаточно чистая.

Литература

1. Кузьмина А.Е. Основные черты фитопланктона нижнего бьефа Красноярского водохранилища // Круговорот вещества и энергии в водоемах: тез. докл. на IV Всесоюз. совещ. – Лиственничное на Байкале, 1977. – С. 91–95.
2. Чайковская Т.С. Фитопланктон реки Енисей и Красноярского водохранилища // Природные комплексы низших растений Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 2–22.
3. Сороковицова Л.М. Трансформация главных ионов и минерализация воды р. Енисей в условиях зарегулированного стока // Водные ресурсы. – 1993. – Т. 20, №3. – С. 320–325.
4. Санитарно-экологическое и трофическое состояние средней части реки Енисей и ее притоков / Л.А. Щур, А.Д. Апонасенко, В.Н. Лопатин [и др.] // Гидробиол. журн. – 1998. – Т. 34, № 2. – С. 46–54.
5. Сороковицова Л.М., Башенхаева Н.В. Евтрофирование и качество воды Енисея // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27, №4. – С. 498–503.
6. Изменение структурно-функциональных показателей фитоперифитона на участках р. Енисей с различным состоянием антропогенно-экологического напряжения / Н.А. Гаевский, Т.Н. Ануфриева, Е.А. Иванов [и др.] // Вестник КрасГУ. – 2006. – № 5. – С. 93–98.
7. О воздействии притоков на экологическое состояние реки Енисей / А.Д. Апонасенко, В.В. Дрюккер, Л.М. Сороковицова [и др.] // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, №6. – С. 692–699.
8. Вельдре С.Р. Статистическая проверка счетного метода количественного анализа планктонных проб // Применение математических методов в биологии. – Л.: Наука, 1963. – Т.2. – С. 10–31.
9. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. – Л.: Наука, 1969. – Т. 1. – 657 с.
10. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
11. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 184 с.
12. Баринова С.С, Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. WEB. – URL: <http://herba.msu.ru/algae/>.
13. Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol, 1973. Beih. 7: Ergeb. Limnol. H.7. – 218 p.
14. Wegl R. Index fur die Limnosaprobität // Beitrage zur Gewässerforschung – 1883. – XIII, Bd 26. – S. 127–173.

15. Жукинский В.Н., Оксуюк О.Н., Олейник Г.Н. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. – 1981. – Т. 17, № 2. – С. 38–49.
16. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.Н. Оксуюк, В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–76.
17. Методы химических исследований океана / под ред. О.К. Бордовского, В.Н. Иваненкова. – М.: Наука, 1978. – 270 с.
18. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справ. мат-лы / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.Н. Заика [и др.]. – М.: Эколайн, 2000. – 61 с.
19. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.: Изд-во Минздрава РФ, 2007. – 223 с.
20. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно-допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010 г. – М.: Изд-во ВНИРО, 2010. – 153 с.
21. Грезе В.Н. Кормовые ресурсы рыб реки Енисей и их использование // Изв. ВНИИОРРХ. – М.: Пищепромиздат, 1957. – Т.41. – 226 с.
22. Емельянова Л.М., Башенхаева Н.В. // Круговорот вещества и энергии в водоемах: тез. докл. V Всесоюз. лимнол. совещ. – Иркутск, 1977. – С. 99.
23. Продукционно-гидробиологические исследования Енисея. – Новосибирск: Наука, 1993. – 195 с.



УДК 630*561.24

В.В. Сима́нко, А.В. Бенькова, А.В. Шашкин

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «СКОЛЬЗЯЩИХ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА» ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ДЕРЕВЬЕВ

Предложен метод расчета и анализа «скользящих функций отклика» для выявления влияния климатических факторов на радиальный рост деревьев на основе расчета средних скользящих коэффициентов корреляции. Определен оптимальный временной период («окно») длительностью в 20 дней, при котором скользящие функции отклика показали более тесную корреляцию индексов радиального прироста с климатическими переменными (температурой и осадками).

Ключевые слова: функции отклика, «скользящие функции отклика», «скользящие средние», индексы радиального прироста, климатические факторы.

V.V. Simanko, A.V. Benkova, A.V. Shashkin

THE APPLICATION OF “SLIDING RESPOND FUNCTION” METHOD FOR REVEALING CLIMATIC FACTOR INFLUENCE ON TREE RADIAL GROWTH

The calculation and analysis method of “sliding respond functions” for revealing the climatic factor influence on tree radial growth based on calculation of correlation average “sliding” coefficients is proposed. The optimal time period (“window”) with the length of 20 days where “sliding respond functions” showed the closest correlation of radial growth indices with climatic variables (temperature and precipitation) is determined.

Key words: respond functions, “sliding respond functions”, “sliding average”, radial growth indices, climatic factors.

Введение. Степень изменчивости годичного прироста, обусловленную климатическими изменениями, принято оценивать, используя эмпирический подход, а именно построение и анализ стандартных функций отклика нормированной ширины годичных колец (индексов) на влияние климатических факторов. Это орто-