

УДК 504:581.5

**СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ  
В ПЛОДАХ ЧЕРНИКИ (*VACCINIUM MYRTILLUS*)  
В ПРЕДЕЛАХ ХОЛМОГОРСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО УЗЛА  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Старицын В.В., Полякова Е.В.**

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН, Архангельск, e-mail: lenpo26@yandex.ru*

Одним из основных компонентов недревесных лесных ресурсов выступают дикорастущие ягодники. Черника (*Vaccinium myrtillus* L.) является доминантом травяно-кустарничкового яруса таежных лесов. Ягоды черники являются источником аскорбиновой кислоты (витамина С). На содержание витамина С в ягодах оказывают влияние генотип, условия окружающей среды, биотические и абиотические стрессы. Узлы пересечений тектонических нарушений (тектонические узлы) выступают связующим звеном между абиотической (геологической) и биотической (биогеоценозы) средами. В статье представлены результаты по изучению содержания аскорбиновой кислоты в плодах черники в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла Архангельской области. Исследование является дополнением к циклу статей о влиянии тектонических узлов на состояние окружающей среды на севере Русской плиты. Показано, что содержание аскорбиновой кислоты в ягодах черники отличается в центре тектонического узла от периферии. В ягодах из центра узла ее содержание на 37% больше по сравнению с ягодами с периферии. Предварительно подобную закономерность можно объяснить различием в химическом составе почв в центре и на периферии узла. В почвах центра содержание калия, фосфора и магния – элементов, взаимосвязанных с накоплением витамина С в ягодах, – больше, чем в почвах на периферии. Кроме того, в центре узла выпадает меньшее количество жидких и твердых атмосферных осадков, что снижает сезонное промывание почв и, как следствие, вызывает концентрирование микроэлементов в плодах черники. Подобная зависимость отмечается и для других тектонических узлов на территории Архангельской области.

**Ключевые слова:** аскорбиновая кислота (витамин С), недревесные лесные ресурсы, тектонический узел, черника (*Vaccinium myrtillus* L.), Архангельская область

**THE CONTENT OF ASCORBIC ACID IN BLUEBERRY FRUITS  
IN THE KHOLMOGORSKY TECTONIC KNOT  
OF THE ARKHANGELSK REGION**

**Staritsyn V.V., Polyakova E.V.**

*N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch,  
Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: lenpo26@yandex.ru*

One of the main components of non-timber forest resources are wild berries. Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) is the dominant herb-shrub layer of taiga forests. Blueberries are a source of ascorbic acid (vitamin C). The content of vitamin C in berries is influenced by genotype, environmental conditions, biotic and abiotic stresses. The nodes of intersections of tectonic disturbances (tectonic nodes) act as a link between the abiotic (geological) and biotic (biogeocenoses) environments. The article presents the results on the content of ascorbic acid (vitamin C) in blueberries in the center and on the periphery of the Kholmogory tectonic knot of the Arkhangelsk region. The study is an addition to a series of articles on the impact of tectonic knots on the state of the environment in the North of the Russian Plate. It is shown that the content of ascorbic acid in blueberries differs in the center of the tectonic knot from the periphery. In berries from the center of the focus, its content is 37% higher than in berries from the periphery. Previously, such a concentration can be explained by an increase in the chemical composition of the soil in the center and at the peripheral nodes. The content of potassium, phosphorus and magnesium – elements associated with the accumulation of carbohydrates in berries – is concentrated in soils, more than in soils on the periphery. In addition, a smaller amount of liquid and a larger amount of atmospheric gases fall out in the center of the outbreak, which affects the seasonal soil leaching and, as a result, an increase in the concentration of trace elements in blueberries. A similar dependence is also observed for other tectonic knots in the territory of the Arkhangelsk region.

**Keywords:** ascorbic acid (vitamin C), non-timber forest resources, tectonic knot, blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.), Arkhangelsk region

Общая площадь лесов Архангельской области составляет 29341,5 тыс. га, лесистость, без островов Белого моря, Северного Ледовитого океана и Новой Земли, – 72,4% [1]. Среди целей, декларированных в Лесном плане Архангельской области на 2009–2018 гг. и пролонгированных в но-

вом на 2019–2028 гг. помимо прочих значатся: «...вовлечение в рыночный оборот недревесных лесных ресурсов и развитие альтернативных видов использования лесов для заготовки пищевых ресурсов...». В связи с этим использование недревесных ресурсов архангельских лесов приобретает

все большее значение и способствует росту экономического потенциала лесного хозяйства области.

Одним из основных компонентов недресных лесных ресурсов выступают дикорастущие ягодники. В лесах Архангельской области встречается около 20 видов ягод, среди них черника (*Vaccinium myrtillus* L.) является доминантом травяно-кустарничкового яруса таежных лесов [2]. Вид традиционно является ценным пищевым ресурсом для местного населения, кормовым растением для различных млекопитающих и птиц, обладает медоносными и лекарственными свойствами. Ценность дикорастущих ягодников заключается в высокой приспособленности к местным климатическим условиям, иммунитете к болезням и вредителям, кроме того, они содержат более высокое количество биологически активных веществ, не обрабатываются пестицидами и инсектицидами [3]. Ягоды черники являются источником аскорбиновой кислоты (витамина С), которая способствует укреплению иммунитета человека, улучшает процессы кровообращения [4], используется в качестве пищевой добавки при лечении или профилактики цинги [5].

На содержание аскорбиновой кислоты в ягодах оказывают влияние генотип, условия окружающей среды (географическое положение, почва, температура, освещение) [6], биотические и абиотические стрессы [7]. Лимитирующим фактором накопления витамина С в ягодах являются температура воздуха и осадки за вегетационный период: чем выше коэффициент экстремальности (соотношение среднемесячных температур к сумме осадков), тем большее количество витамина содержится в плодах [8]. Продолжительность светового дня также сказывается на содержании витамина С в ягодах – на свету его образуется больше, чем в темноте. Подобные климатические условия (экстремальность факторов, длительный летний световой период) характерны для Архангельской области.

Узлы пересечений тектонических нарушений (тектонические узлы) выступают связующим звеном между абиотической (геологической) и биотической (биогеоценозы) средами. При увеличении количества пересекающихся разломов возрастает степень раздробленности, проницаемости и глубинности узла, возникает вертикальная высокопроницаемая область коро-мантийного взаимодействия, вызывающая постоянный приток флюидов и глубинных газов,

формируется глубинный стволочный канал повышенного тепломассообмена [9]. В работе [10] показано, что в центре узла жидкие атмосферные осадки выпадают практически в 2 раза реже, а их количество на 38% меньше, чем на периферии. Количество осадков авторы увязывают с атмосферным давлением.

Цель настоящей работы – показать влияние Холмогорского тектонического узла на количественное содержание витамина С в ягодах черники.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись плоды черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), произрастающей в северной тайге Холмогорского района Архангельской области. Сбор плодов для химического анализа проводился в период массового плодоношения черники обыкновенной в первой половине августа 2020 г. Закладывались две пробные площади 25×25 м в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла (рис. 1), производился равномерный отбор ягод по 500 г с каждой. Далее пробы передавались в Центр коллективного пользования научным оборудованием «Критические технологии РФ в области экологической безопасности Арктики» (ЦКП КТ РФ «Арктика») ФИЦКИА УрО РАН для определения содержания витамина С и влажности ягод.

Определение аскорбиновой кислоты проводилось колориметрическим методом, основанном на фотометрическом определении избытка 2,6-дихлорфенолиндофенола после восстановления определенной части его аскорбиновой кислоты. Измерения производились на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu Corporation, Япония) при длине волны 515 нм.

Содержание аскорбиновой кислоты ( $X$ , мкг/г) рассчитывается по формуле

$$X = \frac{A \times V}{m},$$

где  $A$  – содержание аскорбиновой вытяжки, найденное по калибровочной кривой, мкг/мл;

$V$  – объем экстракта, полученного из данной навески, мл;

$m$  – масса навески исследуемого материала, г.

Определение влажности ягод осуществлялось гравиметрическим методом (взвешивание до и после сушки) в сушильном шкафу ES-4620 (Экрос, Россия) при  $105 \pm 0,5$  °С.

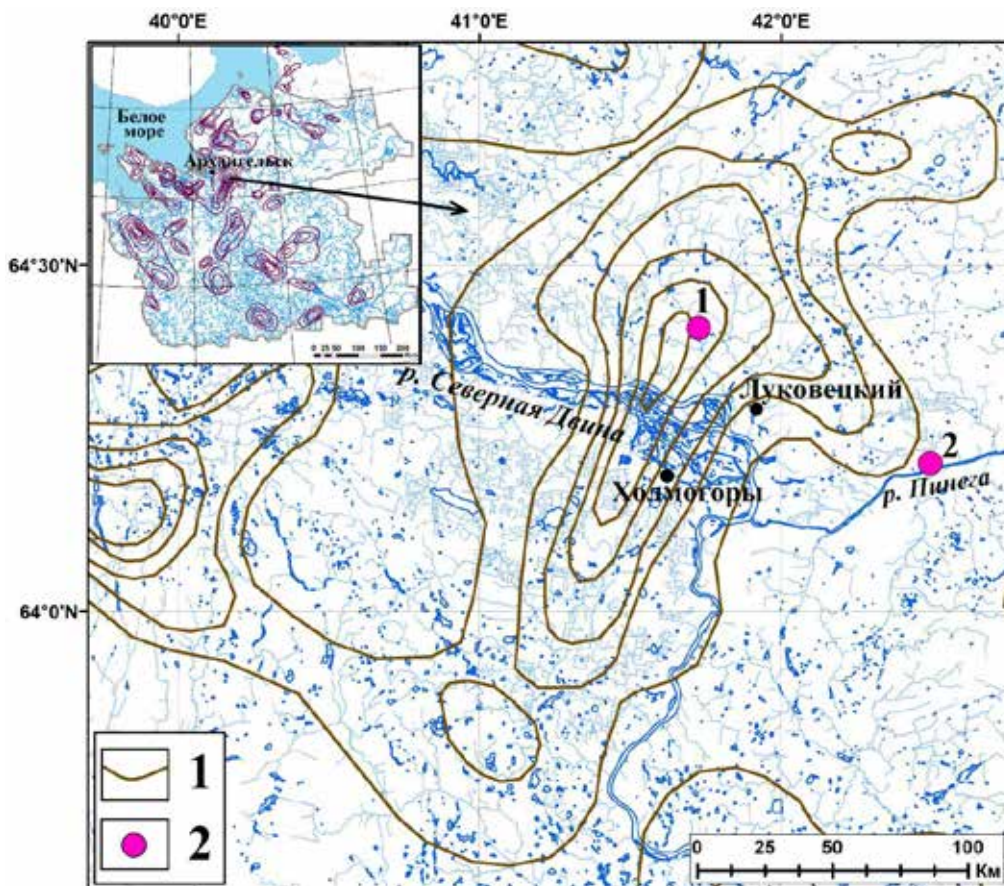


Рис. 1. Места отбора проб на территории Холмогорского тектонического узла:  
1 – изолинии плотности разрывных нарушений, 2 – точки отбора  
(1 – в центре, 2 – на периферии узла)

### Результаты исследования и их обсуждение

Черника широко распространена на территории Архангельской области. Ягоды растения являются умеренным источником витамина С. Однако уровень аскорбиновой кислоты в ягодах поддерживается в стабильном состоянии в течение созревания за счет наличия антоцианов и в биологически активной форме, поскольку в ягодах не содержится фермент аскорбатоксидаза, который инактивирует витамин С, превращая его в дегидроаскорбиновую кислоту [7].

Аскорбиновая кислота синтезируется в печени или почках большинства животных, за исключением людей и некоторых высших приматов, которые утратили возможность вырабатывать её самостоятельно [11]. В то же время она важна для нормального функционирования организма и представляет особую ценность в рационе человека [12]. Поэтому необходимо ее внешнее

поступление в организм человека, в основном из свежих фруктов и овощей.

Согласно нормам физиологических потребностей [13] среднесуточная потребность взрослого человека в витамине С составляет 90 мг. По новым нормам [14] данный показатель увеличен до 100 мг в сутки.

В табл. 1 приведено краткое геоботаническое описание пробных площадей, заложенных в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла.

Следует отметить, что, согласно [9], тектонический узел – это не аналог понятия «аномалия повышенной плотности линеаментов», поскольку при выделении узлов тектонических нарушений в полной мере используются геолого-геофизические материалы, а не только результаты дешифрирования и морфометрического анализа. При этом под «центром» узла понимается наибольшая плотность тектонических нарушений, под «периферией» – наименьшая.

**Таблица 1**

Описание пробных площадей  
 в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла

Показатель	Центр	Периферия
Рельеф	Ровный, вершина холма	Ровный, без выраженных повышений
Тип леса	Ельник черничный	Ельник черничный
Формула древостоя	9Е1С	9Е1Б
Древостой	Ель (средний диаметр ствола 11,1 см) Сосна (средний диаметр ствола 19,1 см)	Ель (средний диаметр ствола 21,6 см) Береза (средний диаметр ствола 12,4 см)
Сомкнутость крон	50%	60–70%
Подрост	Ель (до 1,7 м) Осина (до 1,5 м)	Ель (средняя высота 1,07 м) Береза (средняя высота 1,65 м)
Опад	20%	15–20%
Проективное покрытие: – общее – травяно-кустарничковый ярус – мохово-лишайниковый ярус	90% 70% 60%	95% 60% 80%

**Таблица 2**

Средние значения содержания аскорбиновой кислоты и влажности плодов черники  
 в пределах Холмогорского тектонического узла

Параметр	Центр	Периферия	Разница
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	144,30 ± 2,11	105,66 ± 3,18	38,64 ± 1,07
Влажность плодов, %	89,01 ± 0,10	89,14 ± 0,16	0,13 ± 0,06

Проведенные исследования показали, что содержание аскорбиновой кислоты в ягодах черники различается от центра тектонического узла к периферии (табл. 2). Так, в ягодах, отобранных из центра, ее содержание составляет 144,3 мг/100 г, в то время как в ягодах с периферии – 105,66 мг/100 г, то есть разница в 38,64 мг/100 г соответствует 37% (при принятии периферии за 100%). При этом среднее значение влажности плодов не имеет существенного территориального различия.

Еще в работе [15] отмечалось, что, помимо прочих условий, содержание аскорбиновой кислоты в растениях определяется химическим составом почвы. Недостаток азота обуславливает уменьшение аскорбиновой кислоты в растениях, а обогащение почвы калием, фосфором и марганцем приводит к ее увеличению.

Геохимические аномалии, возникающие в зоне тектонических разломов, могут вносить изменения в химический состав почв. Элементный состав почвы в центре и на пе-

риферии Холмогорского тектонического узла различается в процентном соотношении (рис. 2). Наибольшее отличие отмечается для содержания марганца в почве. Так, в центре узла его на 221% больше, чем на периферии. Содержание калия в почвах центральной части узла на 17% выше, а фосфора – на 5% выше по сравнению с почвами периферии.

Возможно, именно изменением в химическом составе почв можно объяснить различие в содержании аскорбиновой кислоты в ягодах из центра и периферии тектонического узла. Кроме того, инструментально зафиксировано, что в центре узла выпадает меньшее количество жидких атмосферных осадков [10], их количество на 26–38% ниже по сравнению с периферией [16]. Выпадение твердых атмосферных осадков (снега) на периферии узла происходит раньше (при большей глубине снежного покрова), а стаивание – позже [16]. Все это снижает сезонное промывание почв и, как следствие, вызывает концентрирование микроэлементов в плодах черники.

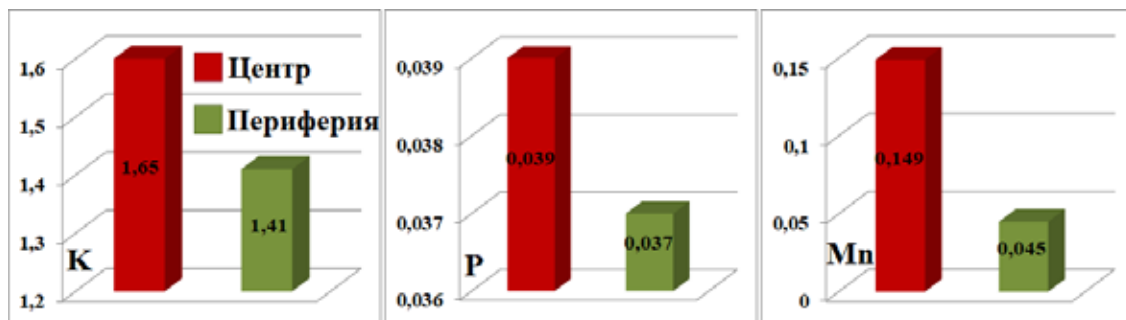


Рис. 2. Распределение микроэлементов в пределах Холмогорского тектонического узла, в процентах

Ранее были получены подобные данные для других тектонических узлов в пределах Архангельской области – Плесецкого (Кенозерского) [17] и Вельско-Устьянского [18]. Так, для Кенозерского тектонического узла установлено, что в центре содержание витамина С в ягодах черники составляет  $55,99 \pm 2,00$  мг/100 г, а на периферии –  $35,30 \pm 5,13$  мг/100 г, разница соответствует 62% [13]. Нужно отметить, что Кенозерский тектонический узел находится южнее Холмогорского и территориально относится к средней подзоне тайги. То есть при продвижении на север концентрация аскорбиновой кислоты в ягодах увеличивается в 2–3 раза.

### Заклучение

Таким образом, показано, что тектонические узлы, как наиболее активные структурообразующие элементы геологической среды, оказывают влияние на биологическую компоненту окружающей среды. В частности, в пределах Холмогорского тектонического узла изменяется количественное содержание витамина С в ягодах черники. В ягодах из центра узла его содержание на 37% больше, по сравнению с ягодами с периферии. Предварительно подобную закономерность можно объяснить различием в химическом составе почв в центре и на периферии узла. В почвах центра содержание калия, фосфора и магния – элементов, взаимосвязанных с накоплением витамина С в ягодах, – больше, чем в почвах на периферии. Подобная тенденция отмечается и для других тектонических узлов на территории Архангельской области.

Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра

комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.

### Список литературы

1. Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2020 год / Отв. ред. О.В. Перхурова; ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды». Текст электронный. Архангельск: САФУ, 2021. 478 с.
2. Астрологова Л.Е. Урожайность черники в сосняках черничных Архангельской области в 2010–2011 годах // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвузовский сборник научных трудов / Отв. ред. П.А. Фелистов. Архангельск: САФУ, 2012. Вып. 15. С. 72–74.
3. Лютикова М.Н., Туров Ю.П. Исследование компонентного состава ягод местной дикорастущей брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 145–149.
4. Мухаметова С.В., Скочилова Е.А., Протасов Д.В. Параметры плодоношения и содержание флавоноидов и аскорбиновой кислоты в плодах голубики (*Vaccinium*) // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 113–121. DOI: 10.14258/jcrpm.2017031785.
5. Ulbricht C., Basch E., Basch S., Bent S., Boon H., Burke D., Costa D., Falkson C., Giese N., Goble M., Hashmi S., Mukarjee S., Papaliodis G., Seamon E., Tanguay-Colucci S., Weissner W., Woods J. An Evidence-Based Systematic Review of Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) by the Natural Standard Research Collaboration. *Journal of Dietary Supplements*. 2009. No. 6 (2). P. 162–200. DOI: 10.1080/19390210902861858.
6. Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 5–27. DOI: 10.14258/jcrpm.201502429.
7. Cocetta G., Karppinen K., Suokas M., Hohtola A., Häggman H., Spinardi A., Mignani I., Jaakola L. Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development. *Journal of Plant Physiology*. 2012. No. 169 (11). P. 1059–1065. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.03.010.
8. Терентьева В.М. Влияние метеорологических факторов на накопление витаминов в ягодах брусники // Аграрная наука. 2010. № 9. С. 17–18.
9. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Неверов Н.А. Новые данные о влиянии тектонических узлов на состояние окружающей среды на севере Русской плиты // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 5. С. 12–24.
10. Беляев В.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Хмара К.А. Влияние узлов тектонических дислокаций на характер выпадения осадков в лесных экосистемах // Вестник ПГУ. Сер. «Естественные и точные науки». 2009. № 2. С. 45–50.

11. Nishikimi M., Yagi, K. Biochemistry and Molecular Biology of Ascorbic Acid Biosynthesis. Subcellular Biochemistry. 1996. P. 17–39. DOI: 10.1007/978-1-4613-0325-1\_2.
12. Тяпкина Д.Ю., Кочиева Е.З., Слугина М.А. Накопление витамина С в сочных плодах: биосинтез и рециркуляция, гены и ферменты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23 (3). С. 270–280. DOI: 10.18699/VJ19.492.
13. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
14. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 4. С. 6–19. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19.
15. Девятнин В.А. Витамины. М.: «Пищепромиздат», 1948. 280 с.
16. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Гофаров М.Ю., Минеев А.Л. Современная тектоническая активность Кандалакшского грабена по комплексу данных // Вестник САФУ. Сер. Естеств. науки. 2013. № 4. С. 21–29.
17. Старицын В.В., Беляев В.В. Урожайность и содержание витамина С в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и чернике (*Vaccinium myrtillus* L.) в пределах Плесецкого тектонического узла // Лесной журнал. 2015. № 1 (343). С. 78–84.
18. Беляев В.В., Неверов Н.А., Старицын В.В., Бойцова Т.А. Свойства некоторых компонентов фитоценозов, произрастающих на территориях тектонических узлов (Архангельская область) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (139). С. 197–204.