

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 502.2.05

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ УЗЛОВ СЕВЕРА РУССКОЙ ПЛИТЫ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА МИКРОУРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ СОДЕРЖАНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПЛОДАХ ЧЕРНИКИ И БРУСНИКИ)

© 2023 г. В. В. Старицын¹, Ю. Г. Кутинов¹, Е. В. Полякова^{1,*},
З. Б. Чистова¹, А. Л. Минеев¹

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН,
пр. Никольский, 20, Архангельск, 163012 Россия

*E-mail: lenpo26@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.12.2022 г.

После доработки 01.02.2023 г.

Принята к публикации 13.02.2023 г.

Исследование является дополнением к циклу статей о результатах мониторинговых исследований влияния тектонических узлов на состояние окружающей среды региона. Узлы тектонических дислокаций являются связующим звеном между абиотической (геологической) и биотической средами и оказывают существенное воздействие на состояние растительного покрова, как на макро-, так и на микроуровнях. В статье показана закономерность содержания аскорбиновой кислоты ($C_6H_8O_6$ витамин С) в плодах черники и брусники в зависимости от пространственного нахождения кустарничков в пределах тектонического узла. Выявлено, что концентрации витамина С в ягодах, отобранных в центре и на периферии тектонических узлов, отличаются. Например, его содержание в плодах черники из центра Холмогорского тектонического узла и на 37% больше, чем в ягодах с периферии этого же узла. В плодах черники из центра Плесецкого тектонического узла витамина С на 59%, а в ягодах брусники – на 62% больше по сравнению с периферией; ягоды брусники из центра Вельско-Устьянского тектонического узла содержат витамина С – на 58% больше, чем плоды, произрастающие на его периферии. Упомянутые тектонические узлы отличаются друг от друга по геоморфометрическим, геологическим, тектоническим и ряду других признаков, что позволяет сделать вывод о влиянии глубинных факторов на состояние окружающей среды в целом и на концентрации витамина С в плодах черники и брусники, в частности.

Ключевые слова: межгеосферное взаимодействие, тектонический узел, окружающая среда, аскорбиновая кислота (витамин С), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.)

DOI: 10.31857/S086978092302008X, EDN: TWOXDY

ВВЕДЕНИЕ

В статье [19] дано следующее определение геоэкологии: “Геоэкология – это наука, изучающая геосферные оболочки Земли, компоненты окружающей среды и минеральную основу биосферы и происходящие в них изменения под влиянием природных и техногенных факторов”, т.е. в первую очередь объектами изучения являются межгеосферные процессы. В научной литературе существуют многочисленные свидетельства взаимодействия литосферы с биосферой и атмосферой на площади тектонических нарушений. Приводимые факты довольно часто имеют разрозненный характер, и, как правило, не являются результатом многолетних мониторинговых наблюдений. Авторами в течение более 20 лет про-

водились исследования межгеосферных процессов в области развития тектонических узлов [11]. Поскольку они являются связующим звеном между абиотической (геологической) и биотической средами, то оказывают существенное влияние на состояние растительного покрова как на макро-, так и на микроуровнях [11, 12]. Это обусловлено не только прямым воздействием структур геологической среды (литосферы), но и косвенным (триггерные и спровоцированные эффекты) за счет влияния на процессы, происходящие в атмосфере.

Для анализа влияния тектонических узлов на состояние окружающей среды было необходимо выбрать репрезентативный для приарктических территорий России. Им является территория Ар-

хангельской области, исходя из следующих ее характеристик: 1) она входит в состав Русской равнины, имеющей сходные геоморфологические режимы с Западно-Сибирской равниной [4] и Среднесибирским плоскогорьем, занимающими суммарно более 60% территории России; 2) регион расположен на территории Европейского Севера и охватывает основные геолого-географические и биоклиматические типы формирования природных комплексов от типичной тундры до типичных ландшафтов средней полосы России [17]; 3) входит в состав единого Арктического минерагенического пояса [15] и имеет общие геохимические характеристики земной коры [1]; 4) в современном геодинамическом плане она является частью общей области динамического влияния зоны Арктического спрединга [9]. Все это дает возможность для широкомасштабных сопоставительных исследований, результаты которых могут быть распространены на все платформенные территории РФ.

Цель исследования — оценить влияние тектонических узлов на содержание витамина С в биоматериале. В качестве биотической составившей эксперимент были выбраны плоды черники (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), поскольку данные виды являются доминантными в травяно-кустарничковом ярусе таежных лесов Архангельской области. Кроме того, они имеют короткий вегетационный период, что дает возможность оценить эффект накопления микроэлементов в плодах в зависимости от пространственной приуроченности к тектоническому узлу в течение летнего полевого сезона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований пространственно находится на севере Русской плиты и административно совпадает с территорией Архангельской области. Геологическое строение, структура разломов и тектонических узлов, а также характер современного рельефа региона подробно рассмотрены в монографиях авторов [8, 9, 14], поэтому в данной статье затрагиваются кратко. На архейском кристаллическом фундаменте с угловым и стратиграфическим несогласиями залегают породы осадочного чехла, слагающие два тектоно-вещественных мегакомплекса: рифтогенный (отложения рифея) и плитный (венд-фанерозойские отложения). Современный рельеф региона является результатом материковых оледенений (днепровского, московского, валдайского), послеледниковой эрозии и тектонических процессов. В целом его структура представляет собой сочетание форм доледникового денудационно-тектонического, ледникового и послеледникового аккумулятивного и эрозионного генезиса. Последнее

валдайское оледенение (10–12 тыс. лет назад) дополнило древний рельеф многочисленными моренными холмами, грядами и возвышенностями с обширными низинами. В целом территория представляет собой пологую, слегка волнистую равнину, постепенно понижающуюся к Северному Ледовитому океану и разделенную равнинами крупных рек. Абсолютные отметки рельефа редко превышают 200 м.

Рассматриваемые тектонические нарушения были заложены в позднем архее (2600–2800 млн. лет) и в домезозойский период пережили от 4 до 10 этапов активизации [12]. Они пересекают практически весь геологический разрез от фундамента до верхних слоев осадочного чехла. На уровне фундамента разломы играли структурообразующую роль, формируя блоковое строение его кровли. В осадочном чехле большинству разломов соответствуют узкие зоны трещиноватости с амплитудой первые десятки метров и флексуобразные перегибы. В верхней части разреза наблюдаются палеодолины сложного строения с глубиной врезки до 200 м, являющиеся “гидрогеологическими окнами” [11].

Ранее на территории Архангельской области было выделено 18 тектонических узлов, отличающихся друг от друга порядком, размерами, формами и количеством образующих их пересечений (рис. 1).

Анализируемые узлы образованы пересечениями архейских разломов (и соответствующих им зон трещиноватости в осадочном чехле) и могут рассматриваться как одновозрастные образования. Методика выделения узлов подробно рассмотрена в работах авторов [11, 14]. При этом использовались практически все имеющиеся на исследуемую территорию геолого-геофизические материалы (рис. 2), которые в дальнейшем были дополнены геоморфометрическим анализом цифровой модели рельефа (ЦМР) ASTER GDEM V2, подготовленной по авторским методикам [8].

Тектонические узлы образованы пересечениями рифейских грабенов северо-западного и трансблоковых зон меридионального и северо-восточного простираний. Особенность методики выделения систем разломов и тектонических узлов заключается в том, что выделяются не осевые линии разломов, а площади их динамического влияния (по участкам сгущения линейных элементов). Учитывая масштаб исходных материалов (1:200 000), вынесение зон динамического влияния разломов на Схему расположения тектонических узлов на территории Архангельской области (см. рис. 1) делает ее нечитаемой.

Для уточнения воздействия тектонических узлов и отделения их влияния от других факторов, необходимо было “отсечь” эти (другие) факторы. Эта задача решалась следующим образом. Было

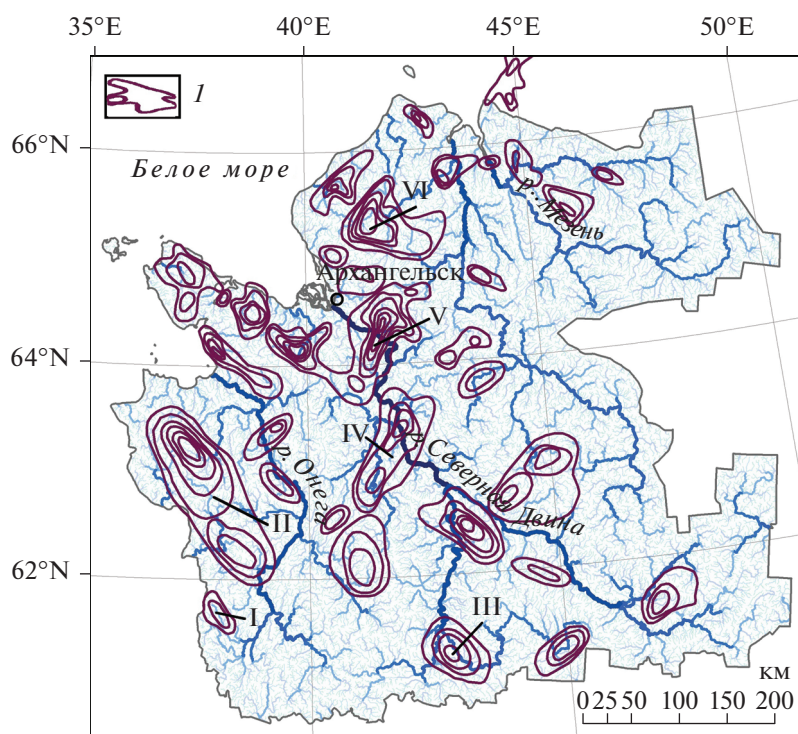


Рис. 1. Схема расположения тектонических узлов на территории Архангельской области. I – изолинии плотности тектонического нарушения; римские цифры – исследованные тектонические узлы: I – Лекшмозерский, II – Кенозерский (Плесецкий), III – Вельско-Устьянский, IV – Емецкий, V – Холмогорский, VI – Зимнебережный.

необходимо дифференцировать тектонические узлы и выбрать отличные друг от друга по ряду основных параметров. В этом случае при доминирующем вкладе тектонических узлов наблюдаемые эффекты в растительном покрове должны быть идентичными или схожими, в противном случае они должны значительно различаться. Как отмечалось ранее, в качестве индикатора растительного покрова на микроуровне было выбрано содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) из-за достаточно короткого срока ее накопления в ягодах черники и брусники.

Для разделения тектонических узлов нами учитывались характеристики земной коры и геоморфометрические параметры рельефа, а также взаимосвязи между ними.

Для оценки характеристик земной коры были рассчитаны: коэффициент дискретности и энергоемкость мегаблоков, плотность разломов и функция дробления земной коры [7], отражающие энергетические параметры последней и ее предрасположенность к блоковому делению.

В дальнейшем по авторской методике [14] был проведен анализ отражения структур кристаллического фундамента в современном рельефе (рис. 3А, Б, В).

Для разделения тектонических узлов по геоморфометрическим параметрам по каждому из 18 узлов были подготовлены векторные слои с полигонами границ периферии узла, всех промежуточных пересечений и центра узла [11] и по границе каждого полигона из ЦМР были подготовлены цифровые модели узлов и всех пересечений внутри узла (модуль “Clip Grid With Polygon” из программного обеспечения SAGA GIS).

По разработанным авторами методикам [14] были проведены расчеты площадного распределения высотных отметок рельефа (см. рис. 3Г), индекса расчлененности и углов наклона на площади тектонических узлов. Показано, что по распределению значений высот тектонические узлы на территории области можно разделить на три крупные группы (см. рис. 3Г). Первая группа – узлы, занимающие значительную площадь (до 160 тыс. ячеек, при размере ячейки ЦМР 30×30 м), которая разделяется на две подгруппы: 1а – высоты внутри узла до 150 м, 1б – высоты до 350 м. Вторая группа – узлы средних размеров (средняя площадь узла до 60 тыс. ячеек), также подразделяется на две подгруппы: 2а – высоты до 100 м, 2б – высоты до 250 м. Третья группа – узлы малой площади (до 20 тыс. ячеек) с высотами до 200 м.

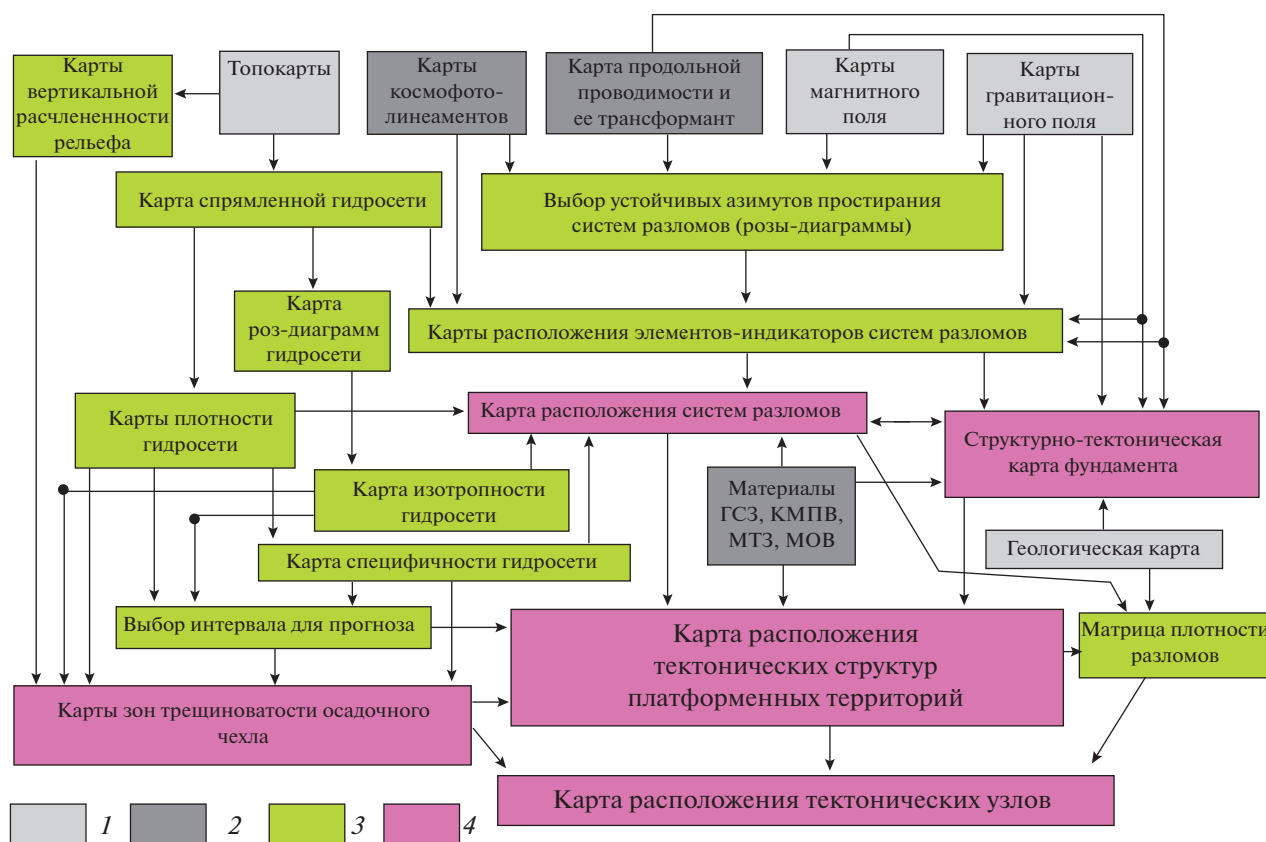


Рис. 2. Алгоритм выделения систем разломов и тектонических узлов, по [13]. 1–2 – архивные материалы: 1 – имеющиеся для всех территорий древних платформ, 2 – не всегда имеющиеся; 3–4 – карты и материалы, получаемые в процессе исследований: 3 – промежуточные, 4 – окончательные.

Таким образом, по перечисленным выше параметрам (как эндогенным, так и геоморфометрическим) узлы отличаются друг от друга.

Сбор плодов черники и брусники для определения содержания витамина С производился в период массового плодоношения (в конце июля – первой половине августа) на трех тектонических узлах – Холмогорском, Плесецком (Кенозерском), Вельско-Устьянском. Для этого закладывались по две пробные площади 25×25 м в центре и на периферии каждого узла, производился равномерный отбор ягод по 500 г с каждой. Далее пробы передавались в ЦКП КТ РФ “Арктика” ФИЦКИА УрО РАН для определения содержания в них витамина С. Определение аскорбиновой кислоты проводилось колориметрическим методом на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu Corporation, Япония) при длине волны 515 нм [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных ранее работ для всех исследованных тектонических узлов (см. рис. 1)

отмечены следующие характерные особенности [11]:

- устойчивый “дефицит” атмосферного давления (до 25 Мб) по периферии узлов;
- различная частота и количество выпадающих жидких атмосферных осадков в центре и на периферии (на 26% больше) узлов;
- более раннее выпадение снега, большая мощность снегового покрова и его более позднее таяние на периферии узлов;
- изменение электрической проводимости воздуха, непрохождение сигналов сотовой связи и характер короткопериодных магнитных вариаций;
- увеличение количества гроз (до 4 раз) и, как следствие, лесных пожаров.

Учитывая, что тектонические узлы являются каналами глубинной дегазации и источниками наведенных магнитотеллурических токов [12], зафиксированные явления вполне объяснимы и закономерны. В то же время надо отметить, что над площадью узлов наблюдаются своеобразные климатические особенности, отличающиеся от окружающей территории.

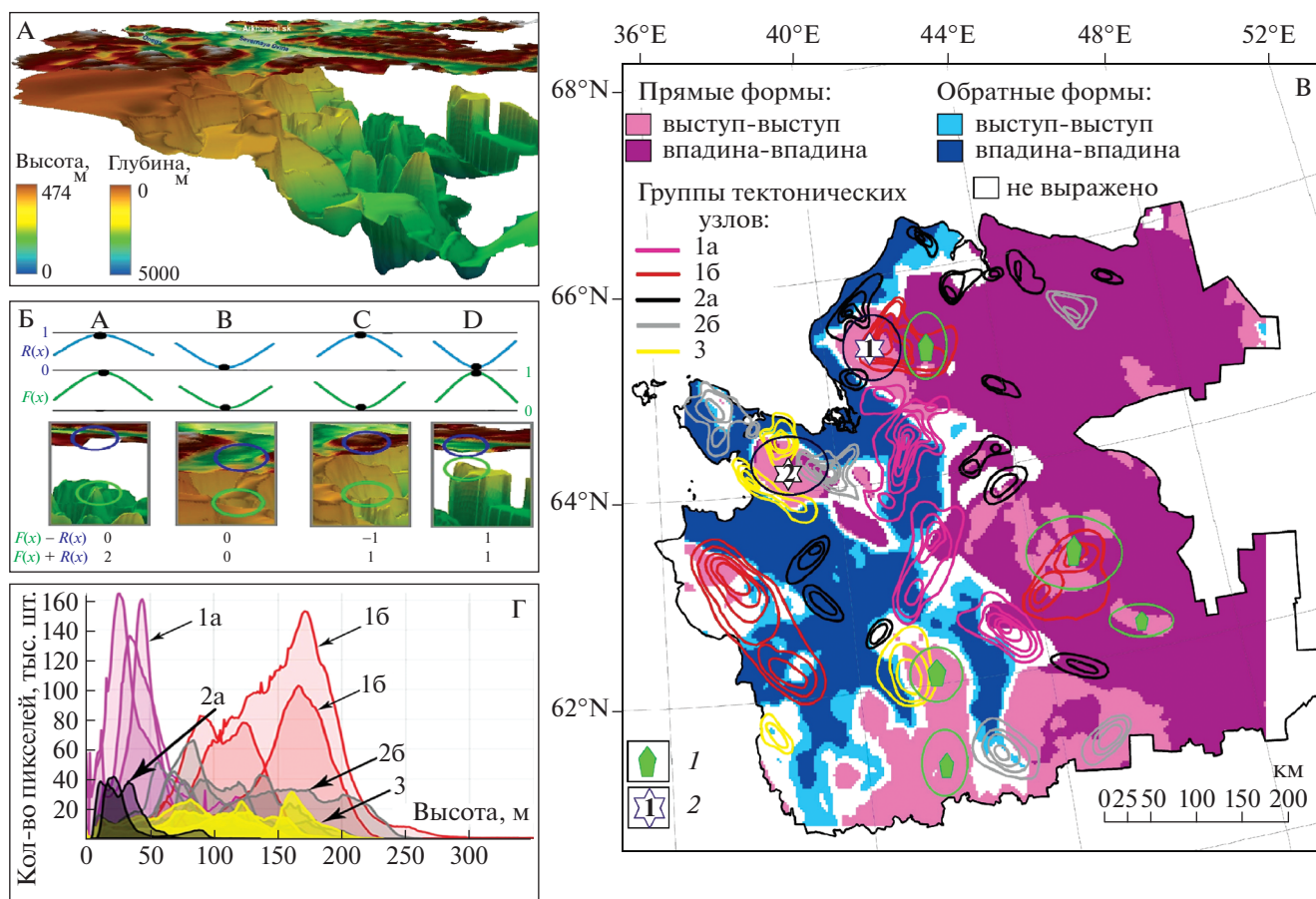


Рис. 3. Разделение тектонических узлов по эндогенным и геоморфометрическим параметрам. А – 3D сопоставление цифровых моделей рельефа и фундамента на территории Архангельской области; Б – разность и сумма нормированных значений функций: А, В – прямые (повторяющиеся); С, Д – обратные (противоположные) формы; Е – сопоставление форм наследования структур фундамента в современном рельефе и геоморфометрических параметров тектонических узлов с проявлениями кимберлитового магматизма и участками условной вероятности встречи нефтяных и газовых месторождений по неотектоническим данным на площади Мезенской синеклизы: 1 – районы вероятных локализаций нефтяных и газовых месторождений; 2 – районы кимберлитового магматизма: 1 – Зимнебережный кимберлитовый район, 2 – Ненокское и Белозерское поля мелилититов и кимберлитов; Г – распределение высот в группах тектонических узлов: 1 – узлы большой площади, высоты: 1а – до 150 м, 1б – до 350 м; 2 – узлы средней площади, высоты: 2а – до 100 м, 2б – до 250 м; 3 – узлы малой площади.

Влияние на растительный покров выглядит следующим образом:

- на макроуровне – изменение структуры растительного покрова (до 20%), причем наблюдается отчетливая корреляция между степенью изменений и количеством тектонических пересечений, слагающих узел [5]; большее разнообразие растительности в узле;

- на микроуровне – повышенное количество пораженных корневой губкой (*Heterobasidion ananosum* Fr.) деревьев [11]; биохимические показатели лишайников, произрастающих на территории тектонического узла и за его пределами, существенно различаются практически по всем показателям в течение всего вегетационного периода [24]; изменение урожайности черники и брусники и содержания химических элементов в плодах

от центра узла к его периферии [20]; различие в толщине клеточной стенки ранней и поздней древесины в центре и на периферии узлов [26].

Таким образом, влияние тектонических узлов на состояние растительного покрова как на макро-, так и на микроуровне можно считать установленным.

В табл. 1 приведено сопоставление характеристик исследованных тектонических узлов. Следует отметить, что среди представленных в данном исследовании трех тектонических узлов Холмогорский территориально является самым северным и относится к подзоне северной тайги, два других – Плесецкий (Кенозерский) и Вельско-Устьянский – расположены южнее и относятся к среднетаежной подзоне. Сходные результаты были получены и по Зимнебережному тектониче-

Таблица 1. Сопоставление характеристик исследованных тектонических узлов

Характеристики	Холмогорский	Плесецкий (Кенозерский)	Вельско-Устьянский
Количество тектонических пересечений	6	3	4
Группа по геоморфометрическим параметрам	1а	3	3
Простирание	Меридиональное	Северо-западное	Изометричный
Порядок тектонических узлов	1	2	2
Мегаблоки и трансблоковые зоны	Беломорский мегаблок	Карельский мегаблок	Карельский мегаблок
Коэффициент дискретности мегаблоков	2.64	2.35	2.35
Удельная энергоёмкость мегаблоков, Дж/м ³	(22–24) × 10 ⁹	(15–17) × 10 ⁹	(15–17) × 10 ⁹
Значения функции дробления	2.3	0.6	1.0
Подстилающие породы осадочного чехла	Венд, алевролиты, аргиллиты	Карбон, известняки	Пермь, красноцветы
Тип рельефа	Денудационное плато (палеозойского возраста), равнина с конечно-моренными всхолмлениями (валдайское оледенение)	Возвышенность, холмисто-моренный	Плато, плоская равнина
Формы отражения структур кристаллического фундамента в современном рельефе (фундамент-рельеф)	Обратная (выступ–впадина)	Обратная (впадина–выступ)	Прямая (выступ–выступ)
Подзона северной тайги	Северная тайга	Средняя тайга	Средняя тайга

скому узлу. Но он был исключен из рассмотрения, так как это район проявления кимберлитового магматизма, в котором проводятся интенсивные горные работы. То есть, во-первых, там достаточно велик вклад антропогенного воздействия; во-вторых, одним из факторов природного воздействия на состояние растительного покрова рядом авторов указывается наличие близ поверхностных интрузивных или эффузивных образований [23].

Принято считать, что на содержание витамина С в плодах черники и брусники оказывают влияние генотип, условия окружающей среды (географическое положение, почва, температура, освещение) [16], биотические и абиотические стрессы [25]. Лимитирующими факторами его накопления выступают температура воздуха и осадки за вегетационный период: чем выше коэффициент экстремальности (соотношение среднемесячных температур к сумме осадков), тем большее его количество концентрируется в плодах [21]. Продолжительность светового дня также сказывается на содержании витамина С в ягодах. Именно такие условия (экстремальность факторов, длительный

летний световой период) характерны для всей территории Архангельской области [21].

Несомненно, что на содержание витамина С в растениях влияет химический состав почвы [6]. Недостаток азота вызывает уменьшение, а обогащение почвы калием, фосфором и марганцем влечет за собой увеличение его концентраций в растениях.

Рассмотрим эти факторы более подробно. Как указывалось выше, на площади тектонических узлов наблюдаются своеобразные климатические и другие особенности, отличающиеся от центра к периферии. На площади выбранных узлов были рассмотрены следующие параметры, приведенные в табл. 2: предрасположенность к протеканию экзогенных процессов; значения высот базисных поверхностей; амплитуда высот разностных поверхностей, плотность облачности с июня по август (вегетационный период).

Важной характеристикой рельефа является также и экспозиция склонов, так как этот параметр определяет их теплообеспеченность и, несомненно, влияет на состояние растительного покрова. Расчет значений экспозиции склонов по-

Таблица 2. Сопоставление поверхностных характеристик исследованных тектонических узлов

Характеристики	Холмогорский	Плесецкий (Кенозерский)	Вельско-Устьянский
Районирование территории на основе кластерного анализа значений углов наклона, LS-фактора, индекса расчлененности рельефа и индекса влажности, по [17]	Склонные к заболачиванию во время паводков	Плоские и волнистые моренные равнины, слабо предрасположенные к развитию эрозионных процессов	Плоские и волнистые моренные равнины, сильно предрасположенные к развитию эрозионных процессов
Значения базиса эрозии, (7 порядок), м*	18	80	56
Разностные поверхности (7–8 порядка), м*	8–12	19–40	56
Средняя (медианная) доля облачности над территорией Архангельской области за период с июня по август 2020 г., данные Sentinel-5P TROPOMI*	0.60–0.64	0.64–0.68	0.48–0.56

*Осредненные данные.

Таблица 3. Средние значения содержания витамина С в плодах черники и брусники

Плоды	Центр	Периферия	Разница, мг/100 г/%
Холмогорский			
Черника	144.30 ± 2.11	105.66 ± 3.18	38.64/36.6
Кенозерский (Плесецкий)			
Черника	55.99 ± 2.00	35.30 ± 5.13	20.69/58.6
Брусника	70.86 ± 4.69	43.70 ± 0.97	27.16/62.1
Вельско-Устьянский			
Брусника	486.74 ± 3.96	308.99 ± 0.37	177.75/57.5

казал достаточно равномерное их распределение без явно доминирующих направлений [14].

Теплообеспеченность склонов можно оценить также по таким топо-климатическим параметрам, как потенциальная солнечная и фотосинтетически активная радиация. Из всего спектра излучения в жизнедеятельности растений наиболее важную роль играет видимое излучение с длиной волны около 0.38–0.71 мкм, называемое фотосинтетически активной радиацией (ФАР) [22]. Пространственное распределение значений ФАР на площади Холмогорского тектонического узла значительно ниже, чем Вельско-Устьянского и Кенозерского ввиду его более северного расположения.

Приуроченность проявлений щелочно-ультраосновного магматизма и участков условной вероятности встречи нефтяных и газовых месторождений к отдельным группам узлов, выделяемых по геоморфометрическим параметрам (см. рис. 3), свидетельствует также, что они отличаются и в геохимическом отношении. То есть теоретически воздействие разных групп узлов на состояние окружающей среды должно отличаться. Такое воздействие будет отражаться и на более

чувствительных к изменениям среды микропоказателях, таких как, например, содержание витамина С в лесных ягодах.

В табл. 3 приведены сведения о содержании витамина С в плодах черники и брусники на территориях Холмогорского [21], Кенозерского (Плесецкого) [20] и Вельско-Устьянского [3] тектонических узлов (в мг/100 г), а также разница в процентах (при принятии значения с периферии как контрольного за 100%). При этом среднее значение влажности плодов не имеет существенного территориального различия (разница между центром и периферией составляет $0.13 \pm 0.06\%$).

Из данных табл. 3 видно, что в пределах всех трех тектонических узлов отмечается увеличение концентраций витамина С в плодах черники и брусники от периферии к центру. Так, для ягод черники из Холмогорского узла разница составляет порядка 39 мг/100 г (37%), Кенозерского (Плесецкого) – 21 мг/100 г (59%) для черники и 27 мг/100 г (62%) для брусники, Вельско-Устьянского – около 178 мг/100 г (58%) в плодах брусники. Следует отметить, что при продвижении на юг концентрация аскорбиновой кислоты в плодах черники и брусники в процентном отношении

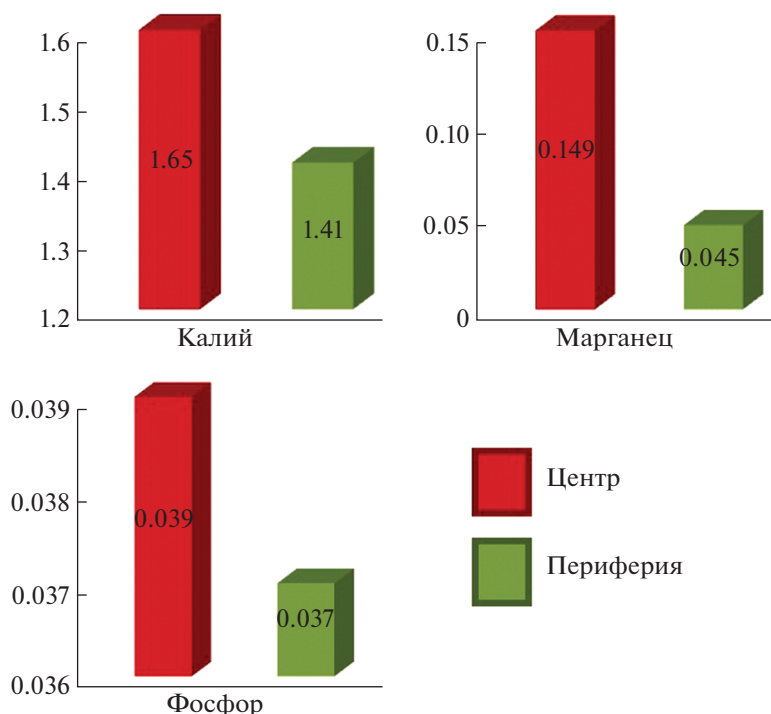


Рис. 4. Распределение микроэлементов в почвах Холмогорского тектонического узла, в процентах, по [21].

увеличивается в 2–3 раза. То есть воздействие климатической зональности отражается в абсолютных значениях содержания витамина С, в то время как влияние тектонических узлов обуславливает его изменение от центра к периферии.

При этом, несмотря на различия в почвах и подстилающих коренных породах, и, как следствие, в их геохимических характеристиках, влияние на содержание витамина С на локальном уровне не просто схоже, а практически идентично. Это, вероятно, обусловлено подтоком глубинных газов и флюидов в области тектонического узла.

В зонах тектонических разломов, а также в узлах пересечений тектонических дислокаций возникают геохимические аномалии, которые, несомненно, вносят изменения в химический состав почв. Так, проведенный анализ почв в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла показал различия в процентном соотношении их элементного состава (рис. 4). Наибольшее отличие отмечается для содержания марганца в почве. В центре узла его содержание на 231% больше, чем на периферии (значения на периферии приняты за 100%). Содержание калия в почвах центральной части узла на 17%, а фосфора — на 5% выше по сравнению с почвами периферии [21]. Сходные закономерности наблюдаются и на площади Вельско-Устьянского и Кенозерского тектонических узлов [18, 20].

Интерес представляет также распределение химических элементов в лишайниках на площади Вельско-Устьянского тектонического узла. Отмечается повышение концентрации микроэлементов (P, Si, Ca, Al, Mg, Fe, Na, Cu, Ti, Cr) у лишайников *Usnea Florida*, произрастающих непосредственно в центре узла [24]. Учитывая воздушный тип питания лишайников, вполне корректно предположить существующую глубинную дегазацию по тектоническому узлу, что подтверждается структурой барического поля и характером облачности, а также снижением содержания кислорода в приповерхностном слое атмосферы.

На более локальном уровне, вероятнее всего, изменения в химическом составе почв являются ответственными за различия в концентрациях витамина С в плодах черники и брусники из центра и периферии тектонического узла. Кроме того, ранее авторами инструментально зафиксировано, что в центре узла выпадает меньшее количество жидких атмосферных осадков [2], их количество на 26–38% ниже по сравнению с периферией [10]. Выпадение снега на периферии узла происходит раньше (при большей глубине снежного покрова), а стаяние — позже [10]. Все это снижает сезонное промывание почв и, как следствие, вызывает концентрирование микроэлементов, в том числе и аскорбиновой кислоты в ягодах черники и брусники.

ВЫВОДЫ

Резюмируя все вышесказанное, а также, учитывая предыдущие исследования по данной тематике, можно сделать вывод, что тектонические узлы, как наиболее активные структурообразующие элементы геологической среды, несомненно, оказывают влияние на биологическую составляющую окружающей природной среды.

В районах тектонических узлов формируются участки с аномальными характеристиками свойств окружающей среды, как на количественном, так и на качественном уровнях. Причем эти изменения прослеживаются и по латерали, и по вертикали.

Несмотря на то что исследуемые тектонические узлы отличаются друг от друга по целому ряду параметров, наблюдаются схожие закономерности изменения параметров окружающей среды. В частности, в пределах трех изученных на данный момент тектонических узлов изменяется количественное содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) в плодах черники и брусники. В плодах кустарничков, произрастающих в центре узла, концентрации витамина С всегда выше, по сравнению с ягодами с периферии. Так, для ягод черники из Холмогорского узла разница составляет порядка 37%, Плесецкого – 59% для черники и 62% для брусники, Вельско-Устьянского – около 56% в плодах брусники.

Предварительно подобную закономерность можно объяснить глубинной дегазацией по тектоническим узлам, обуславливающую различия в химическом составе почв в центре и на периферии тектонических узлов. Подобная тенденция прослеживается 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; а также при поддержке конкурса научных проектов молодых ученых ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, посвященного Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации № 122111000008-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии) / Под ред. И.С. Грамберга и Н.П. Лаверова. СПб.: Наука, 2000. 247 с.
2. 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.
3. 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.
4. Бронгулев В.В., Жидков М.П., Макаренко А.Г. Современные геоморфологические режимы Русской и Западно-Сибирской равнин: сходство и различие // ДАН. 2004. Т. 399. № 4. С. 540–544.
5. Гофаров М.Ю., Болотов И.Н., Кутинов Ю.Г. Ландшафты Беломорско-Кулойского плато: тектоника, подстилающие породы, рельеф и растительный покров. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 158 с.
6. Деятинин В.А. Витамины. М.: “Пищепромиздат”, 1948. 280 с.
7. Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я., Чистова З.Б. Дискретность земной коры, энергоемкость блоков и сейсмичность Европейского Севера России // Вестник геонаук. 2021. № 11 (323). С. 16–24. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.11.2>
8. Кутинов Ю.Г., Минеев А.Л., Полякова Е.В., Чистова З.Б. Выбор базовой цифровой модели рельефа (ЦМР) равнинных территорий Севера Евразии и ее подготовка для геологического районирования (на примере Архангельской области). Пенза: “Социосфера”, 2019. 176 с.
9. Кутинов Ю.Г. Современный геодинамический режим Арктического сегмента земной коры и нефтегазообразование. Пенза: “Социосфера”, 2021. 281 с.
10. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Гофаров М.Ю., Минеев А.Л. Современная тектоническая активность Кандалакшского грабена по комплексу данных // Вестник САФУ. Сер. Естественные науки. 2013. № 4. С. 21–29.
11. 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.
12. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах Севера Русской плиты // Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. Вып. 1. [Электронное научное издание]. URL: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubr1-kora-mantiya-yadro-statya8-kutinovchistova-2012.pdf> (дата обращения 05.12.2022).
13. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минеев А.Л. Цифровое моделирование рельефа для прогноза площадей перспективных на нефть и алмазы // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1 (24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art8>
14. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минеев А.Л. Применение цифровых моделей рельефа (ЦМР) для выделения тектонических структур древних платформ (на примере северо-запада Русской плиты). Пенза: “Социосфера”, 2020. 378 с.
15. Кутинов Ю.Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 388 с.

16. *Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х.* Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы // *Химия растительного сырья*. 2015. № 2. С. 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprpm.201502429>
17. *Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В.* Геоэкологическое районирование территории Архангельской области с использованием цифровых моделей рельефа и ГИС-технологий // *Пространство и Время*. 2017. № 2–3–4 (28–29–30). С. 267–288.
18. *Неверов Н.А., Беляев В.В.* Влияние геоэкологических условий среды на некоторые виды растительных ресурсов Севера // *Евразийское научное объединение*. 2018. № 1 (35). С. 225–228.
19. *Осипов В.И.* Геоэкология – междисциплинарная наука об экологических проблемах геосфер // *Геоэкология*. 1993. № 1. С. 4–18.
20. *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 // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2015. № 1 (343). С. 78–84.
21. *Старицын В.В., Полякова Е.В.* Содержание аскорбиновой кислоты в плодах черники (*Vaccinium myrtillus* L.) в пределах Холмогорского тектонического узла Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 6. С. 77–82. <https://doi.org/10.17513/use.37844>
22. *Тооминг Х.Г., Гуляев Б.И.* Методика измерения фотосинтетически активной радиации. Москва: Наука, 1967. 143 с.
23. *Шитов А.В., Воронков В.Г., Воронкова Е.Г.* Об изучении влияния геологических процессов на биологические системы (на примере Горного Алтая) // *Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: тр. междунар. научно-практ. конф. М.: МГУ, 2009. С. 30–32.*
24. *Belyaev V.V., Bogolytsyn K.G., Broyko O.S., Kutinov Yu.G. et al.* Influence of tectonic knot on the conditions and properties of some biogeocenosis components in the subarctic area // *European Journal of Environmental Sciences*. 2019. V. 9 (1). P. 5–11. <https://doi.org/10.14712/23361964.2019.1>
25. *Cocetta G., Karppinen K., Suokas M., Hohtola A. et al.* Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development // *J. of Plant Physiology*. 2012. V. 169 (11). P. 1059–1065. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.03.010>
26. *Neverov N.A., Belyaev V.V., Chistova Z.B., Kutinov Y.G. et al.* Influence of morphometric parameters of relief on macro- and microstructure of wood *Pinus silvestris* L. in the North of the Russian plain // *J. of Forest Science*. 2019. № 65. P. 79–85. <https://doi.org/10.17221/123/2018-JFS>

INFLUENCE OF THE TECTONIC KNOTS IN THE NORTH OF THE RUSSIAN PLATE ON THE ENVIRONMENT STATE AT THE MICROLEVEL (BY THE EXAMPLE OF THE CONTENT OF ASCORBIC ACID IN BLUBERRY AND COWBERRY FRUITS)

V. V. Staritsyn^a, Yu. G. Kutinov^a, E. V. Polyakova^{a, #}, Z. B. Chistova^a, and A. L. Mineev^a

^a*Laverov Federal Center for the Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
Nikolskii pr. 20, Arkhangelsk, 163012 Russia*

[#]*E-mail: lenpo26@yandex.ru*

The study is an addition to a series of articles on the results of monitoring studies on the impact of tectonic knots on the state of the environment in the region. The knots of tectonic dislocations are a link between the abiotic (geological) and biotic environments, and have a significant impact on the state of vegetation cover, both at the macro and micro levels. This article shows the regularity of the content of ascorbic acid (vitamin C) in blueberries and cowberries, depending on their spatial location within the tectonic knot. It was revealed that the concentrations of vitamin C in berries selected in the center and on the periphery of tectonic knots differ. For example, its content in blueberries from the center of the Kholmogory tectonic knot is 37% higher than in berries from the periphery of the same knot. In the fruits of blueberries from the center of the Plesetsk tectonic knot – by 59%, and in cowberries – by 62% more, compared with the periphery. In the fruits of cowberries from the center of the Velsko-Ustyansky tectonic knot – 58% more. These knots differ from each other in geomorphometric, geological, tectonic factors, etc., which allows us to conclude that deep factors influence the state of the environment in general and the concentration of vitamin C in blueberries and cowberries in particular.

Keywords: *intergeospheric interaction, tectonic knot, environment, ascorbic acid (vitamin C), blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.), cowberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.)*

REFERENCES

1. *Arktika na poroge tret'ego tysyacheletiya (resursnyi potentsial i problemy ekologii)* [The Arctic on the threshold of the third millennium (resource potential and environmental problems)]. Gramberg, I.S., Laverov, N.P., Eds., St. Petersburg, Nauka Publ., 2000, 247 p. (in Russian)
2. Belyaev, V.V., Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B., Khmara, K.A. *Vliyanie uzlov tektonicheskikh dislokatsii na kharakter vypadeniya osadkov v lesnykh ekosistemakh* [Influence of knots of tectonic dislocations on the character of precipitation in forest ecosystems]. *Vestnik PGU. Ser. Estestvennye i tochnye nauki*, 2009, no. 2, pp. 45–50. (in Russian)
3. Belyaev, V.V., Neverov, N.A., Staritsyn, V.V., Boitsova, T.A. *Svoistva nekotorykh komponentov fitotsenozov, proizrastayushchikh na territoriyakh tektonicheskikh uzlov (Arkhangel'skaya oblast')* [Properties of some components of phytocenoses growing in the territories of tectonic knots (Arkhangelsk region)]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, vol. 4 (139), pp. 197–204. (in Russian)
4. Brongulev, V.V., Zhidkov, M.P., Makarenko, A.G. *Sovremennyye geomorfologicheskie rezhimy Russkoi i Zapadno-Sibirskoi ravnin: skhodstvo i razlichie* [Contemporary geomorphological regimes of the Russian and West Siberian plains: similarities and differences]. *DAN*, 2004, vol. 399 (4), pp. 540–544. (in Russian)
5. Gofarov, M.Yu., Bolotov, I.N., Kutinov, Yu.G. *Landshafty Belomorsko-Kuloiskogo plato: tektonika, podstilyayushchie porody, rel'ef i rastitel'nyi pokrov* [Landscapes of the Belomorsko-Kuloi plateau: tectonics, underlying rocks, relief and vegetation]. Yekaterinburg, UrO RAN, 2006, 158 p. (in Russian)
6. Devyatnin, V.A. *Vitaminy* [Vitamins]. Moscow, Pishchepromizdat, 1948, 280 p. (in Russian)
7. Kutinov, Yu.G., Belenovich, T.Ya., Chistova, Z.B. *Diskretnost' zemnoi kory, energoemkost' blokov i seismichnost' Evropeiskogo Severa Rossii* [Discreteness of the Earth's crust, energy intensity of blocks, and seismicity of the European North of Russia]. *Vestnik geonauk*, 2021, vol. 11 (323), pp. 16–24. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.11.2> (in Russian)
8. Kutinov, Yu.G., Mineev, A.L., Polyakova, E.V., Chistova, Z.B. *Vybor bazovoi tsifrovoi modeli rel'efa (TsMR) ravninnykh territorii Severa Evrazii i ee podgotovka dlya geologicheskogo raionirovaniya (na primere Arkhangel'skoi oblasti)* [Choice of a basic digital elevation model (DEM) of the plain territories of the North of Eurasia and its preparation for geological zoning (on the example of the Arkhangelsk region)]. Penza, Sotsiosfera, 2019, 176 p. (in Russian)
9. Kutinov, Yu.G. *Sovremennyyi geodinamicheskii rezhim Arkticheskogo segmenta zemnoi kory i neftegazobrazovanie* [Modern geodynamic regime of the Arctic segment of the Earth's crust and oil and gas formation]. Penza, Sotsiosfera, 2021, 281 p. (in Russian)
10. Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B., Gofarov, M.Yu., Mineev, A.L. *Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' Kandalakshskogo grabena po kompleksu dannykh* [Modern tectonic activity of the Kandalaksha's graben according to the data set]. *Vestnik SAFU. Ser. Estestvennye nauki*, 2013, no. 4, pp. 21–29. (in Russian)
11. Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B., Neverov, N.A. *Novyye dannyye o vliyaniy tektonicheskikh uzlov na sostoyaniye okruzhayushchei sredy na severe Russkoi plity* [New data on the impact of tectonic knots on the state of the environment in the north of the Russian Plate]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2020, no. 5, pp. 12–24. (in Russian)
12. Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B. *Kompleksnaya model' protsessov mezhgeosfer'nogo vzaimodeystviya v tektonicheskikh uzlakh Severa Russkoi plity* [Complex model of processes of intergeospheric interaction in tectonic knots of the North of the Russian plate]. *Al'manakh Prostranstvo i Vremya*, 2012, vol. 1 (1). URL: <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/rubr1-kora-mantiya-yadro-statya8-kutinovchistova-2012.pdf> (data obrashcheniya 05.12.2022). (in Russian)
13. Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B., Polyakova, E.V., Mineev, A.L. *Tsifrovoye modelirovaniye rel'efa dlya prognoza ploshchadei perspektivnykh na nef't' i almazy* [Digital elevation modeling for forecasting areas promising for oil and diamonds]. *Aktual'nye problemy nef'ti i gaza*, 2019, vol. 1 (24). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-24.art8> (in Russian)
14. Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B., Polyakova, E.V., Mineev, A.L. *Primeneniye tsifrovyykh modelei rel'efa (TsMR) dlya vydeleniya tektonicheskikh struktur drevnykh platform (na primere severo-zapada Russkoi plity)* [Application of digital elevation models (DEMs) to identify tectonic structures of ancient platforms (on the example of the north-west of the Russian plate)]. Penza, Sotsiosfera, 2020, 378 p. (in Russian)
15. Kutinov, Yu.G. *Ekogeodinamika Arkticheskogo segmenta zemnoi kory* [Ecogeodynamics of the Arctic segment of the earth's crust]. Yekaterinburg, UrO RAN, 2005, 388 p. (in Russian)
16. Lyutikova, M.N., Botirov, E.Kh. *Khimicheskii sostav i prakticheskoye primeneniye yagod brusniki i klyukvy* [Chemical composition and practical application of cowberry and cranberry berries]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 2, pp. 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429> (in Russian)
17. Mineev, A.L., Kutinov, Yu.G., Chistova, Z.B., Polyakova, E.V. *Geoekologicheskoye raionirovaniye territorii Arkhangel'skoi oblasti s ispol'zovaniyem tsifrovyykh modelei rel'efa i GIS-tekhnologii* [Geoecological zoning of the territory of the Arkhangelsk region using digital elevation models and GIS technologies]. *Prostranstvo i Vremya*, 2017, vol. 2–3–4 (28–29–30), pp. 267–288. (in Russian)
18. Neverov, N.A., Belyaev, V.V. *Vliyanie geoekologicheskikh uslovii sredy na nekotorye vidy rastitel'nykh resursov Severa* [Influence of geoecological environmental conditions on some types of plant resources of the North]. *Evraziyskoye nauchnoye ob'edineniye*, 2018, vol. 1 (35), pp. 225–228. (in Russian)
19. Osipov, V.I. *Geoekologiya – mezhdistsiplinarnaya nauka ob ekologicheskikh problemakh geosfer* [Geoecology as an interdisciplinary science about the environmental problems of the geospheres]. *Geoekologiya*, 1993, no. 1, pp. 4–18. (in Russian)
20. Staritsyn, V.V., Belyaev, V.V. *Urozhainost' i sodержaniye vitamina C v brusnike (Vaccinium vitis-idaea L.) i*

- chernike (Vaccinium myrtillus L.) v predelakh Plesetskogo tektonicheskogo uzla* [Productivity and content of vitamin C in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.) and blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) within the Plesetsk tectonic knot]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2015, vol. 1 (343), pp. 78–84. (in Russian)
21. Staritsyn, V.V., Polyakova, E.V. *Soderzhanie askorbino-voi kisloty v plodakh cherniki (Vaccinium myrtillus L.) v predelakh Kholmogorskogo tektonicheskogo uzla Arkhangel'skoi oblasti* [The content of ascorbic acid in blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) within the Kholmogory tectonic knot of the Arkhangelsk region]. *Uspekhi sovremenogo estestvoznaniya*, 2022, no. 6, pp. 77–82. <https://doi.org/10.17513/use.37844> (in Russian)
 22. Tooming, Kh.G., Gulyaev, B.I. *Metodika izmereniya fotosinteticheski aktivnoi radiatsii* [Technique for measuring photosynthetically active radiation]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 143 p. (in Russian)
 23. Shitov, A.V., Voronkov, V.G., Voronkova, E.G. *Ob izuchenii vliyaniya geologicheskikh protsessov na biologicheskie sistemy (na primere Gornogo Altaya)* [On the study of the influence of geological processes on biological systems (by the example of Gorny Altai)]. *Mnogobrazie sovremennykh geologicheskikh protsessov i ikh inzhenerno-geologicheskaya otsenka: tr. mezhdunar. nauchno-prakt. konf.* Moscow, MGU Publ., 2009, pp. 30–32. (in Russian)
 24. Belyaev, V.V., Bogolytsyn, K.G., Brovko, O.S., Kutin-ov, Yu.G. et al. Influence of tectonic knot on the conditions and properties of some biogeocenosis components in the subarctic area. *European Journal of Environmental Sciences*, 2019, vol. 9 (1), pp. 5–11. <https://doi.org/10.14712/23361964.2019.1>
 25. Cocetta, G., Karppinen, K., Suokas, M., Hohtola, A. et al. Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development. *J. of Plant Physiology*, 2012, vol. 169 (11), pp. 1059–1065. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.03.010>
 26. Neverov, N.A., Belyaev, V.V., Chistova, Z.B., Kutin-ov, Y.G. et al. Influence of morphometric parameters of relief on macro- and microstructure of wood *Pinus silvestris* L. in the North of the Russian plain. *J. of Forest Science*, 2019, no. 65, pp. 79–85. <https://doi.org/10.17221/123/2018-JFS>