

УДК 551.64

Ю.Г. Кутинов¹, З.Б. Чистова², Н.А. Неверов³

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВЛИЯНИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ УЗЛОВ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СЕВЕРЕ РУССКОЙ ПЛИТЫ

Проведено исследование влияния тектонических узлов на состояние компонентов окружающей среды. В состав исследований входили теоретический анализ материалов, цифровое моделирование рельефа, мониторинговые наблюдения для изучения количественных характеристик абиогенных и биогенных процессов в тектонических узлах. На площади тектонических узлов были исследованы структура растительного покрова; изменение урожайности дикорастущих ягодников; содержание минеральных питательных элементов в почве и ягодах; физико-механические свойства древесины; атмосферное давление; содержание кислорода в атмосфере; количество осадков; частота гроз. Узлы пересечения тектонических нарушений являются также источниками наведенных вихревых токов, изменяющих общую картину геомагнитного поля (своего рода магнитные диполи) и параметры барического поля. В сочетании с подтоком флюидов и глубинных газов они создают локальные аномальные участки, влияющие на состояние окружающей среды. Таким образом, в районах тектонических узлов формируются участки с аномальными характеристиками свойств окружающей среды как на количественном, так и на качественном уровнях. Наблюдаются: 1) устойчивый «дефицит» атмосферного давления (до 25 Мб) над тектоническими узлами; 2) существенное отличие частоты осадков и их количества в центре и на периферии тектонических узлов; 3) более раннее выпадение снега на периферии узлов, большая мощность снегового покрова и его более позднее таяние, чем в фоновых районах; 4) область глубинной дегазации на периферии узлов, здесь же увеличивается количество гроз и лесных пожаров; 5) рост разнообразия растительности в узлах тектонических нарушений; 6) изменение электрической проводимости воздуха, на которую указывает своеобразная структура облаков над тектоническими узлами.

Ключевые слова: дегазация, вариации магнитного поля, наведенные токи, атмосферное давление

Введение. На настоящий момент не вызывает сомнения необходимость учета структурно-тектонических факторов при геоэкологических исследованиях на считавшихся ранее пассивными платформенных территориях. В первую очередь это относится к исследованию межгеосферных процессов в области развития тектонических нарушений и, особенно, узлов их пересечений. В последнее время достаточно часто появляются публикации, посвященные отдельным аспектам воздействия тектонических нарушений на состояние окружающей среды, однако до получения полной картины еще достаточно далеко.

Неотектонические подвижки платформенных территорий характеризуются пульсирующим режимом с изменением направления и амплитуды перемещения и сопровождаются вариациями интенсивности дегазации и подтока минерализованных вод, электромагнитного поля и изменениями облачности вдоль дислокаций. Узлы пересечения тектонических нарушений являются также источниками наведенных вихревых токов, изменяющих общую картину геомагнитного (своего рода магнитные диполи) и параметры барического полей. В сочетании с подтоком флюидов и глубинных газов они создают

локальные аномальные участки, влияющие на состояние окружающей среды.

Материал и методы исследования. Район исследований находится на севере Русской плиты и административно совпадает с территорией Архангельской области (площадь 413,1 тыс. км² без учета Ненецкого автономного округа).

В состав исследований входили: теоретический анализ материалов, цифровое моделирование рельефа, мониторинговые наблюдения для изучения количественных характеристик абиогенных и биогенных процессов в тектонических узлах (рис. 1). С целью уточнения пространственного размещения разрывных структур и тектонических узлов первого ранга нами ранее была построена карта расположения систем разломов масштаба 1:1 000 000 на территорию Архангельской области. Построения сводились к выделению устойчивых азимутов простирания линейных элементов, построению карт индикаторов разломов и карт расположения систем разломов. Исходным материалом служили карты потенциальных полей масштаба 1:200 000, уменьшенные до масштаба 1:1 000 000, карта результатов дешифрирования космоснимков масштаба 1:1 000 000, топокарты масштаба 1:1 000 000.

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, лаборатория глубинного геологического строения и динамики литосферы, гл. науч. с., докт. геол.-минерал.н.; e-mail: kutinov@fciarctic.ru

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, лаборатория глубинного геологического строения и динамики литосферы, вед. науч. с., зав. лаб., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: zchistova@yandex.ru

³ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения РАН, лаборатория глубинного геологического строения и динамики литосферы, ст. науч. с., канд. сел.-хоз. н.; e-mail: na-neverov@yandex.ru

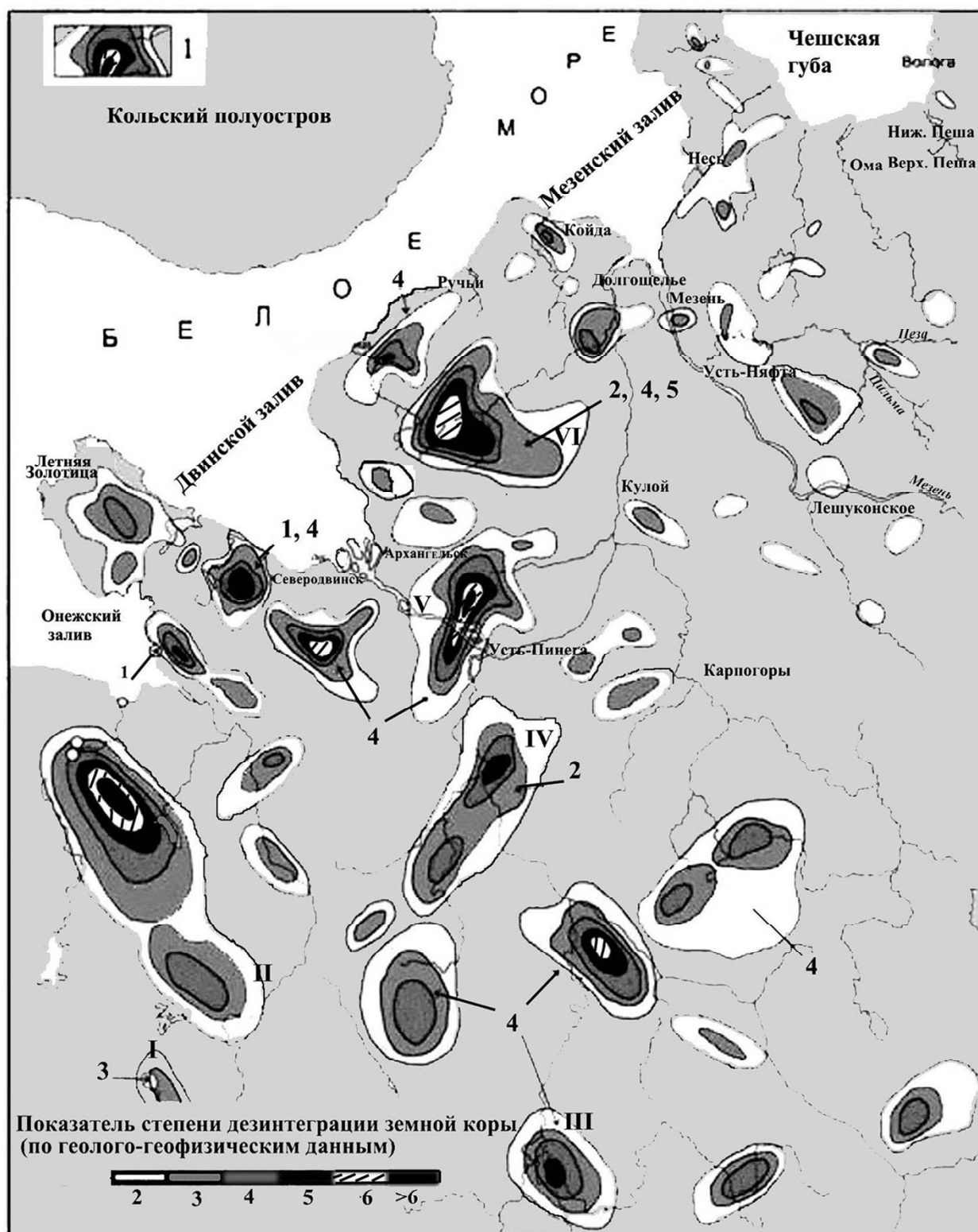


Рис. 1. Схема размещения тектонических узлов [Кутинов, Чистова, 2012]. Арабские цифры на схеме: 1 – места гибели морских звезд; 2 – места повышенной дихотомии деревьев и повышенного содержания тяжелых металлов в коре деревьев; 3 – места массовой гибели рыб; 4 – участки с повышенным содержанием тяжелых металлов в почвах; 5 – участки изменения структуры растительного покрова. Римские цифры на схеме – тектонические узлы, на которых проводились мониторинговые наблюдения. Условные обозначения: 1 – изолинии плотности тектонических нарушений

Fig. 1. Scheme of tectonic nodes [Kutinov, Chistova, 2012]. Arabic numerals on the diagram: 1 – places of sea stars mortality; 2 – places of increased dichotomy of trees and higher content of heavy metals in tree bark; 3 – places of mass fish mortality; 4 – areas with higher content of heavy metals in soils; 5 – areas with changing structure of vegetation. Roman numerals on the diagram are tectonic nodes where monitoring observations were carried out. Legend: 1 – isolines of the density of tectonic deformations

На первом этапе проводились замеры длин и азимутов линейных элементов, по результатам которых строились гистограммы и розы-диаграммы. Так как ориентировка многих линейных элементов не всегда точно совпадает с простиранием тектонических границ, истинные азимуты разломов определялись как средние по максимумам на розах-диаграммах (радиус/угол осреднения – 3–5°).

При составлении карт индикаторов по ранее выделенным направлениям выносились индикаторы тектонических структур. К ним относились спрямленные участки гидросети, космофотолинементы, а в потенциальных полях – градиентные ступени, оси линейных аномалий, зоны потери корреляции и границы областей с разной морфологией поля. Затем проводилось объединение линейных элементов по участкам сгущения индикаторов и построение карты расположения систем разломов, что позволило выделить дизъюнктивы как геологические тела, то есть оценить одну из важнейших характеристик разрывных нарушений – их ширину. Полученные материалы, дополненные розами-диаграммами частот встречаемости элементов-индикаторов и графиками азимутального распределения средних длин последних, позволяют сделать выводы не только о закономерностях пространственного размещения дизъюнктивов и их соподчиненности, но и о физической форме разрывных нарушений на разных структурных этажах и о преобладающих режимах тектонического развития разломно-блоковых структур региона. Выделенные тектонические нарушения сопоставлялись с данными сейсморазведки, сейсмологии и аэроэлектроразведки для отбраковки поверхностных структур, что позволяло не только оценить глубинность структур, но и отсеять поверхностные формы.

По построенной карте систем разломов выделялись узлы пересечения тектонических нарушений первого порядка, проводилась оценка их влияния на компоненты окружающей среды. Следует отметить, что выделенные тектонические узлы не являются аналогами аномалий повышенной плотности линементов, так как при их построении в полной мере использовались геолого-геофизические материалы, а не только результаты дешифрирования и морфометрического анализа. Методика выделения тектонических узлов более подробно рассмотрена в работах авторов [Кутинов и др., 2011; Кутинов, Чистова, 2012 и др.].

С целью разделения тектонических узлов первого порядка по геоморфометрическим параметрам по каждому из них (см. рис. 1) были подготовлены векторные слои с полигонами границы периферии узла, всех промежуточных пересечений и центра узла (по [Кутинов и др., 2019]). Далее по границе каждого полигона с помощью модуля SAGA GIS «Clip Grid With Polygon» из цифровой модели рельефа были вырезаны цифровые модели узлов и всех пересечений внутри узла.

Состав мониторинговых наблюдений для изучения количественных характеристик абиогенных и

биогенных процессов в тектонических узлах включал в себя (см. рис. 1): I – Лекшмозерский – продуктивность ягодников и их состав, химический состав почв; II – Кенозерский – продуктивность ягодников, содержание витамина С; III – Вельско-Устьянский – атмосферное давление, содержание кислорода в атмосфере, количество осадков, частота гроз, химический состав почвы, мхов и лишайников, качество древесины, ягоды (брусника и черника); IV – Емецкий – атмосферное давление, содержание кислорода в атмосфере, частота пожаров, суммарная концентрация летучих органических соединений и других токсичных газов, метана, углеводородов нефти и углекислого газа; V – Холмогорский – мониторинговые измерения барического поля и содержания кислорода в атмосфере, радона в грунтах, количества твердых и жидких осадков, химического состава почв, ягод, качества древесины, интенсивности сигнала сотовой связи; VI – Зимнебережный – структура растительного покрова, частота пожаров, качество древесины, атмосферное давление, эрозионные процессы.

Для уточнения структуры барического поля в 2009–2019 гг. проводились исследования флуктуаций атмосферного давления по региональным профилям в движении по аналогии с геофизическими измерениями по прямому и обратному ходу на площадях Холмогорского и Вельско-Устьянского тектонических узлов. Замеры осуществлялись на автомобиле с координатной привязкой (система координат WGS 84) профессиональной метеостанцией WRM 918H (HUGER GmbH, Germany) (дискретность – 1 мин.). Параллельно измерения атмосферного давления и содержания кислорода выполнялись полевым газоанализатором ECOPROB-5 (RS DYNAMICS, Чешская Республика) в автоматическом режиме (интервал – от 500 до 100 м). Прибор имеет собственную систему GPS-привязки.

На основе данных дистанционного зондирования Земли (два спектрально-аналитических снимка «Landsat-7» за 18.07.2000 г. и 12.07.2001 г.) ранее был проведен анализ площадной структуры растительного покрова (рис. 2, VII) в зависимости от степени дезинтеграции земной коры [Гофоров и др., 2006]. Для анализа характера облачности над узлами тектонических наблюдений проводилась обработка данных с КА MODIS за 2005–2009 гг. (459 снимков летнего периода) и анализ данных с «Landsat-8» [Кутинов, Чистова, 2012; Кутинов и др., 2013]. Для выявления облачного покрова использовалась методика, описанная Г. Кореном [Koren, 2009], как более точная для высоких широт, чем стандартный продукт MOD035.

В период экспедиционных работ (июль–сентябрь) 2006–2019 гг. ежедневно фиксировалась частота выпадения осадков в центре узла и на его периферии. На открытом месте с координатной привязкой (GPS Garmin III Plus) было выставлено по четыре осадкомера площадью 69,4 см² каждый с расстоянием между ними в 5 м. Раз в пять дней осадки из них сливались и взвешивались, затем по-

мещались в отдельные емкости и в конце периода наблюдений снова взвешивались. Для изучения мощности снегового покрова анализировались снимки с КА Монитор-Э (КБ Хруничева) на площади Холмогорского тектонического узла, проводилось их сопоставление с растительным покровом, а с 2013 г. осуществлялись также наземные измерения мощности снегового покрова.

Для фиксации электрических разрядов в атмосфере использовался грозопеленгатор NexStorm (Boltek, USA). Прибор был установлен в д. Беляевская, а затем перемещен в п. Шангала Устьянского района Архангельской области (центр Вельско-Устьянского тектонического узла). Радиус регистрации сигнала – 600 км. Используемое программное обеспечение – NexStorm™. Прибор позволяет определять местоположение гроз, знак заряда и интенсивность, тип разряда (земля–воздух, воздух–земля). На территории Холмогорского тектонического узла проводился также мониторинг уровня сигнала мобильной связи. С 2018 г. начаты измерения плотности потока радона-222 (ППР) с поверхности грунта. Измерения проводились вдоль профиля регистрации атмосферного давления с помощью комплекса «Альфарад плюс РП».

Было проведено изучение содержания минеральных питательных элементов в почве в тектонических узлах [Старицын, Беляев, 2015]. Пробные площади для изучения биоты (центр узла, периферия, контроль) выбирались в сходных ландшафтных условиях. На территории Кенозерского узла в направлении от центра к периферии были отобраны образцы почв 30-сантиметрового слоя в лишайниково-брусничных сосняках. В лабораторных условиях в данных образцах определено содержание важнейших микроэлементов.

На территории Холмогорского, Кенозерского и Лекшмозерского тектонических узлов были проведены исследования изменения урожайности дикорастущих ягодников [Старицын, Беляев, 2015; Неворов, Беляев, 2018]. Исследования включали морфологические замеры кустарничков и их плодов по следующим показателям: высота растения (см), проективное покрытие (%), линейные размеры плодов (высота и диаметр). Замеры линейных размеров плодов черники проводились по пяти случайно отобранным ягодам с каждой учетной площадки штангенциркулем с цифровой индикацией ШПЦ-I-125-0,01. На каждой пробной площади проводилось по 125 замеров.

Физико-механические свойства древесины отражаются основными показателями качества, определяющими область ее применения. Нами были проведены исследования хвойных насаждений на территории тектонических узлов [Neverov et al., 2019]. На площади Вельско-Устьянского узла были заложены восемь постоянных пробных площадей (п. п.) в основных типах леса в пределах узла, в центре и на контроле. На каждой п.п. отбирались по 30 кернов на высоте 1,3 м в направлении юг–север. Далее были определены показатели макрострукту-

ры (доля поздней древесины, ширина годичного слоя) и микроструктуры (толщина клеточных стенок ранней и поздней древесины). Значения этих показателей напрямую влияют на физико-механические свойства, а следовательно, и качество древесины.

Лишайники являются важнейшим компонентом лесных биогеоценозов. Поэтому с 2016 года на территории Вельско-Устьянского тектонического узла совместно с лабораторией растительных биополимеров проводилось изучение биохимических показателей двух видов лишайников (*Cladonia Stellaris* и *Usnea Florida*). Также были проанализированы данные их элементного состава. Подробно методика исследований изложена в работах авторов [Belyaev et al., 2019].

Результаты исследования и их обсуждение.

Рассмотрим модель межгеосферного взаимодействия тектонических узлов по уровням взаимодействия снизу вверх (см. рис. 2) [Кутинов, Чистова, 2012; Кутинов и др., 2020]. Следует отметить, что в приведенную в статье модель не включены данные по астеносфере и ионосфере, т. к. они нуждаются в дальнейшем анализе и проверке.

Фундамент. Региональные тектонические узлы образованы пересечением рифейских грабенов северо-западного и трансблоковых зон меридионального и северо-восточного простираний (см. рис. 2, I, II). Узлы их сопряжения характеризуются высокой блоковой делимостью, повышенной сейсмичностью и аномальными значениями теплового поля. В целом, тектонические узлы представляют собой динамопару, функционировавшую в режиме растяжения–сжатия.

Венд-палеозойский осадочный чехол. В осадочном чехле большинству разломов соответствуют узкие зоны трещиноватости, флексурообразные перегибы. Как показывают наши данные, по северной границе Евразийской плиты на современном этапе достаточно велика роль сдвиговой составляющей [Кутинов, Беленович, 2007]. Таким образом, на пересечении сдвиговых структур с нарушениями других простираний может возникать вертикальный канал, образованный по типу трансформных разломов.

По узлам тектонических нарушений наблюдается подъем глубинных минерализованных вод (см. рис. 2, III, V) являющихся транспортером глубинных газов. Узлы тектонических нарушений, имея сложную структуру проводимости, являются источниками наведенных вихревых токов, изменяющих общую картину геомагнитного поля, что подтверждается характером короткопериодных геомагнитных вариаций (см. рис. 2, XIII).

Верхняя часть разреза. В верхней части разреза наблюдаются палеодолины сложного строения с глубиной вреза до 200 м, являющиеся «гидрогеологическими окнами» [Кутинов, Чистова, 2004]. Наблюдается усиленный водообмен между поверхностными и глубинными горизонтами, который характерен не только для палеодолин, но и для зон

повышенной трещиноватости (см. рис. 2, V). К верхней части разреза приурочены и комплексные геохимические аномалии. О протекающих здесь гидрохимических процессах указывает и повышенная намагнитченность четвертичных отложений [Кутинов, Чистова, 2004].

Современный рельеф. По распределению значений высот узлы делятся на три группы [Кутинов и др., 2019] (рис. 3). Первая группа – большая площадь узла (до 160 тыс. ячеек, размер ячейки 30×30 м), подразделяется на две подгруппы: 1а – высоты 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 узлов – площадь до 20 тыс. ячеек, преобладающие высоты от 50 до 150 м без резко выраженных пиков. Показатель расчлененности изменяется от 0 до 1,75. Максимум (по площади) характеризуется показателем 0,5–0,75 и углами наклона склонов 1,5° [Кутинов и др., 2019]. Из исследованных к группе 1а относятся Зимнебережный, Кенозерский и Лекшмозерский тектонические узлы; к группе 1б – Холмогорский и Емецкий; к группе 2а – Вельско-Устьянский узел (см. рис. 1).

На первый взгляд, пространственной закономерности распределения групп узлов не просматривается. В то же время подгруппа 1а тяготеет к границе Онежского грабена, а подгруппа 1б – к крупным возвышенностям рельефа, испытывающим современное воздымание.

Распределение значений индекса расчлененности и углов наклона склонов имеет одинаковый модальный характер, что свидетельствует об однотипных процессах, в первую очередь эрозионных, на площади тектонических узлов. Однако при этом амплитуда значений по подгруппам различается (максимальные значения – у первой группы, мини-

мальные – у подгруппы 2а). К подгруппе 1б относятся Зимнебережный кимберлитовый район и площади, перспективные на обнаружение кимберлитовых районов и полей по геохимическим данным. Участки, перспективные на обнаружение нефти и газа в Мезенской синеклизе [Кутинов и др., 2019], также, в основном, относятся к подгруппе 1б, что говорит о разных геохимических обстановках.

Педосфера. Результаты исследований содержания калия и фосфора в почвах в районе тектонического узла [Кутинов и др., 2009] показывают, что чем ближе к центру узла пересечения тектонических дислокаций, тем содержание исследуемых элементов выше (см. рис. 2, VI).

Биота. Наблюдается изменение площадной структуры растительного покрова в узлах тектонических нарушений. С ними также совпадают места гибели морских звезд и рыб, дихотомии деревьев, участки загрязнения почв и повышенного содержания тяжелых металлов в коре деревьев (см. рис. 1). Таким образом, возможен подток минерализованных вод и дегазация из глубоких горизонтов земной коры. К тому же, во время магнитных бурь не исключено и изменение ионного состава вод. Не меньшее значение имеют и газовые составляющие зон региональных разломов.

Атмосфера. В 2001–2019 гг. нами проводились измерения атмосферного давления над тектоническими узлами, был установлен факт постоянного «дефицита» атмосферного давления (до 22 mb). Минимумы имеют сложное строение с повышением значений в центре и понижением по периферии (см. рис. 2, XI, XII). Неоднократные измерения, проведенные в разные годы, показывают, что выделенные минимумы являются статичными и не претерпевают сезонных изменений. Такое строение барического поля обеспечивает ускоренное выпадение атмосферных осадков. Установлено, что жидкие

Рис. 2. Модель взаимодействия геосфер в районах тектонических узлов [Кутинов, Чистова, 2012; Кутинов и др., 2020]. А – строение тектонического узла; литосфера: I–II – разрез по профилям ГСЗ [Кутинов, Чистова, 2004]; III – геоэлектрический разрез [Коротков и др., 2007]; IV – розы-диаграммы элементов-индикаторов разломов: а – поля силы тяжести; б – магнитного поля; в – космофотолинеаментов; г – гидросети; V – результаты георадиолокационных исследований; почвы: VI – содержание К в горизонте А0 [Кутинов и др., 2009]; биосфера: VII – структура растительного покрова [Гофаров и др., 2006]; VIII – дихотомия деревьев; IX – распределение корреляции между Mn и Zn в коре деревьев [Кутинов, Чистова, 2004]; атмосфера: X – структура облачности; XI – строение атмосферного минимума; XII – графики атмосферного давления и содержания кислорода; XIII – графики магнитных вариаций в тектоническом узле и за его пределами [Кутинов, Чистова, 2004]; XIV – модель воздействия потока глубинных газов [Сывороткин, 2002]. 1 – зоны повышенной раздробленности и подтока глубинных газов и минерализованных вод; 2 – участки повышенной плотности гроз; 3 – потоки ультрафиолета; 4 – потоки газов; 5 – схема прецессии структурного блока (тело разлома) [Спивак и др., 2009]

Fig. 2 Model of geosphere interaction within the areas of tectonic nodes [Kutinov, Chistova, 2012; Kutinov, et al., 2020]. A – structure of the tectonic node; lithosphere: I–II – sections along the DSS profiles [Kutinov, Chistova, 2004]; III – geoelectric section [Korotkov et al., 2007]; IV – rose-diagrams of fault indicators: а – fields of gravity; б – magnetic field; в – space photo lineaments; г – hydrographic network; V – results of geo-radar survey; soils: VI – K content in A0 horizon [Kutinov et al., 2009]; biosphere: VII – structure of vegetation cover [Gofarov et al., 2006]; VIII – dichotomy of trees; IX – correlation between Mn and Zn in the bark of trees [Kutinov, Chistova, 2004]; atmosphere: X – cloud structure; XI – structure of the atmospheric minimum; XII – graphs of atmospheric pressure and oxygen concentration; XIII – graphs of magnetic variations within and beyond the tectonic node [Kutinov, Chistova, 2004]; XIV – model of the impact of deep-earth gases flow [Syvorotkin, 2002]. 1 – areas of increased fragmentation and inflow of deep-earth gases and mineralized water; 2 – areas of increased thunderstorm occurrence; 3 – ultraviolet streams; 4 – gas flows; 5 – the scheme of the precession of a structural block (body of a fault) [Spivak et al., 2009]

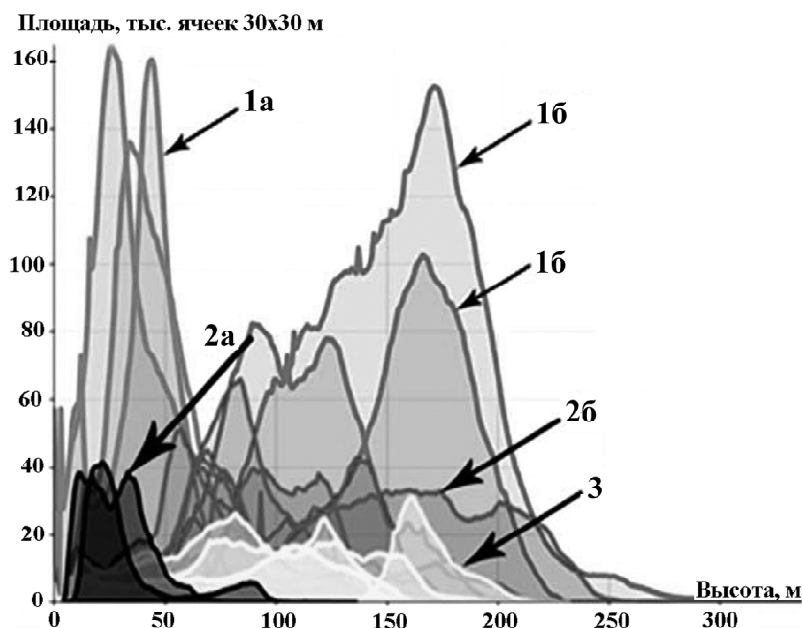


Рис. 3. Распределение высот рельефа на площади тектонических узлов [Кутинов и др., 2019]. Группы узлов: 1 – площадь узлов (до 160 тыс. ячеек): 1а – высоты до 150 м, 1б – высоты до 350 м; 2 – узлы средних размеров (средняя площадь узла до 60 тыс. ячеек): 2а – высоты до 100 м, 2б – высоты до 250 м; 3 – площадь до 20 тыс. ячеек, преобладающие высоты от 50 до 150 м без резко выраженных пиков

Fig. 3. Distribution of relief altitudes within the area of tectonic nodes [Kutinov et al., 2019]. Groups of tectonic nodes: 1 – node area (up to 160 000 cells): 1a – heights up to 150 m, 1b – heights up to 350 m; 2 – nodes of medium size (average area of a node up to 60 000 cells): 2a – heights up to 100 m, 2b – heights up to 250 m; 3 – an area of up to 20 thousand cells, prevailing heights from 50 to 150 m without sharp peaks

осадки в центре тектонических узлов в течение последних 9 лет (время наблюдений) выпадали значительно реже, а их количество на 26–38% меньше. Выпадение снежного покрова на периферии узлов происходит раньше (при большей глубине снежного покрова), а стаивание – позже, чем на фоновых территориях [Кутинов и др., 2013]. Такое распределение осадков влияет на растительные сообщества и на пространственную локализацию калия и фосфора в почвах в районах тектонических узлов. Во всех случаях было зафиксировано снижение содержания кислорода по периферии Холмогорского узла (см. рис. 2, XII), что связано, по мнению авторов, с подтоком глубинных газов, в первую очередь CO_2 . Это в принципе подтверждается характером «озоновых дыр» над территорией севера Русской плиты [Сывороткин, 2002]. Воздействие дегазации по узлам тектонических нарушений находит свое отражение и в динамике поголовья ихтиофауны Белого моря.

Изменение динамики короткопериодных вариаций в момент магнитных бурь в тектоническом узле (см. рис. 2, XIII) и наличие зон повышенной проводимости (см. рис. 2, III) позволяют предположить возникновение в них наведенных магнитотеллурических токов и, как следствие, ионизацию воздуха над узлами разломов. Своеобразная структура облачности над узлами (повышенная плотность облаков по периферии узлов и их отсутствие в центре) (см. рис. 2, X) говорит об изменении электрической проводимости атмосферного воздуха и возможной глубинной дегазации. Этот вывод подтверждается

также повышенной частотой прохождения гроз по периферии тектонических узлов по сравнению с их центрами (в три–четыре раза), что сказывается и на частоте лесных пожаров. На Беломорско-Кулойском плато (Зимнебережный узел) около 70% лесных пожаров возникает от молний.

Подобные явления отражают межгеосферные взаимодействия в системе литосфера–атмосфера–биосфера. Кроме того, в результате лесных пожаров увеличивается содержание CO .

Таким образом, наши данные свидетельствуют о наличии воздействия тектонических нарушений на окружающую среду за счет возникновения наведенных магнитотеллурических токов, глубинной дегазации и изменения структуры барического поля. Наблюдается встречная система «воздействие–отклик», т. е. не только изменения геомагнитного поля и атмосферного давления воздействуют на напряженно-деформированное состояние геологической среды, но и сама среда воздействует на гелио-метеорологические параметры. В районе тектонических узлов формируются вертикальные сквозные каналы сложного межгеосферного взаимодействия, захватывающие литосферу, гидросферу, биосферу и атмосферу.

Такие особенности протекания процессов на уровне литосфера–атмосфера не могут не сказаться на состоянии биоты в районах тектонических узлов (см. рис. 1). В результате проведенных исследований установлено [Belyaev et al., 2019; Беляев и др., 2018; Неверов, Беляев, 2018; Tyukavina et al.,

2019; Neverov et al., 2017, 2019; Старицын, Беляев, 2015; Беляев, Дурьнин, 2015], что в Архангельской области распространение лиственницы совпадает с территориями тектонических узлов, узлы пересечения тектонических нарушений влияют на строение и свойства древесины хвойных пород, произрастающих на их территориях. Проведенные исследования показали, что в насаждениях сосны и ели в указанных типах леса, произрастающих на территории тектонического узла, показатели макростроения древесины отличаются от контрольных. Достоверные различия у сосны отмечены по доле поздней древесины (табл. 1).

Если говорить о микроструктурных показателях, то обращает внимание различие в толщине клеточной стенки ранней и поздней древесины. Кроме того, при анализе образцов древесины было подсчитано количество пораженных корневой губкой (гриб *Heterobasidion annosum* Fr.) деревьев (табл. 2). В насаждениях одноименных типов леса, расположенных на территории тектонических узлов, видовое разнообразие растительности значительно выше, в том числе и лекарственных видов растений; морфометрические показатели некоторых видов растений, которые относятся к лекарственным, изменя-

ются в зависимости от взаимного положения зарослей и тектонических узлов (периферия – центр).

Изучение видового разнообразия в сосняках-брусничниках и ельниках-черничниках средней подзоны тайги показало, что в насаждениях, расположенных на территории тектонического узла, разнообразие растительности значительно выше. Так, в ельнике-черничнике, расположенном в центре узла, обнаружено 11 видов растений, а на контроле – семь. В сосняке-брусничнике, соответственно, девять и семь. Установлено, что морфометрические показатели некоторых видов лекарственных растений изменяются в зависимости от положения зарослей по отношению к тектоническим узлам. Сравнительный анализ показателей растений выявил, что доля брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) в проективном покрытии максимальна на периферии тектонического узла и превышает значения в центре на 4,35%, и на контроле – на 2,76% [Старицын, Беляев, 2015]. Высота растений максимальна на периферии и превышает высоту в центре на 8,85%, на контроле – на 0,42%. Масса побегов с листьями максимальна в центре и превышает периферию на 25,53%, контроль – на 36,3%. Масса сухих листьев брусники максимальна в центре тектонического узла и превышает дан-

Таблица 1

Микроструктура древесины ели и сосны

Пробные площади	Толщина клеточной стенки, мкм					
	Ранняя древесина			Поздняя древесина		
	Толщина клеточной стенки, мкм	Точность опыта, %	Показатель различия	Толщина клеточной стенки, мкм	Точность опыта, %	Показатель различия
Сосняк черничный, контроль	2,86±0,04	1,4	6,3	7,45±0,05	0,6	7,9
Сосняк черничный, центр	3,22±0,04	1,2		8,01±0,05	0,6	
Сосняк сфагновый, контроль	2,79±0,06	2,1	4,2	7,16±0,07	1,0	3,5
Сосняк сфагновый, центр	3,15±0,06	1,9		7,51±0,04	0,8	
Сосняк брусничный, контроль	2,64±0,07	2,6	2,4	3,64±0,09	2,4	3,6
Сосняк брусничный, центр	2,86±0,07	2,4		4,11±0,10	2,4	
Ельник черничный, контроль	3,33±0,16	4,8	2,3	4,25±0,18	4,23	1,05
Ельник черничный, центр	2,91±0,09	3,0		4,01±0,14	3,49	

Примечание. Табличный критерий Стьюдента при вероятности 95% равен 2,0.

Таблица 2

Пораженность деревьев на постоянных пробных площадях корневой губкой (гриб *Heterobasidion annosum* Fr.), % [Беляев, Неверов, 2018]

Тип леса на пробной площади	Положение по отношению к тектоническим узлам	
	Контроль	Тектонический узел (центр)
Ельник-черничник	16	8
Сосняк-брусничник	8	Нет

ный показатель с периферии на 31,65%, с контрольной площади – на 60,93%. Сравнительный анализ показателей багульника болотного (*Ledum palustre* L.) показал, что масса свежесрезанных побегов максимальна на периферии узла. Она выше, чем на контроле, на 19,51% и больше, чем в центре узла в 1,42 раза, а на контрольной площади в 2,07 раза. Высота побегов на периферии и центре узла превышает высоту на контроле соответственно на 9,96 и на 35,03%. Длина листа максимальна на периферии. Она превышает центр на 9,84%, контроль – на 16,39%.

В целом, в насаждениях одноименных типов леса, расположенных на территории тектонических узлов, видовое разнообразие растительности значительно выше, в том числе и лекарственных видов растений. Морфометрические показатели некоторых видов растений изменяются в зависимости от положения зарослей по отношению к тектоническим узлам. Это, вероятно, связано с различиями в количестве осадков за вегетационный период, содержанием микроэлементов в почве и другими показателями среды на таких территориях. Полученные закономерности следует учитывать при оценке

ресурсов лекарственных растений и планировании их заготовки.

В центре узла урожайность брусники и черники значительно меньше ($2,32 \pm 0,41$ и $5,92 \pm 0,96$ г/м²), чем на периферии ($10,88 \pm 1,24$ и $17,44 \pm 2,52$ г/м²) [Старицын, Беляев, 2015] (рис. 4). Аналогично изменяется и количество ягод: в центре собрано брусники и черники $9,32 \pm 1,44$ и $22,32 \pm 3,61$ шт./м², на периферии – $54,68 \pm 8,49$ и $76,48 \pm 9,41$ шт./м². Так, урожайность на 1 м² между центром и периферией отличается на 79% у брусники и на 66% у черники; количество ягод на 1 м² – соответственно на 82% у брусники и на 71% у черники. Возможно, данная зависимость объясняется существенным различием в количестве осадков, особенно в засушливые годы, и разным содержанием микроэлементов в почве. Установлено, что в центре узла содержание витамина С в бруснике $70,86 \pm 4,69$ мг/100 г, в чернике ($55,99 \pm 2,00$) мг/100 г, что значительно больше, чем на периферии – ($43,70 \pm 0,97$) мг/100 г и ($35,30 \pm 5,13$) мг/100 г, соответственно. Таким образом, содержание витамина С отличается на 59% между центром и периферией у брусники и на 62% у черники, максимальное содержание витамина С наблюдается в центре тектони-

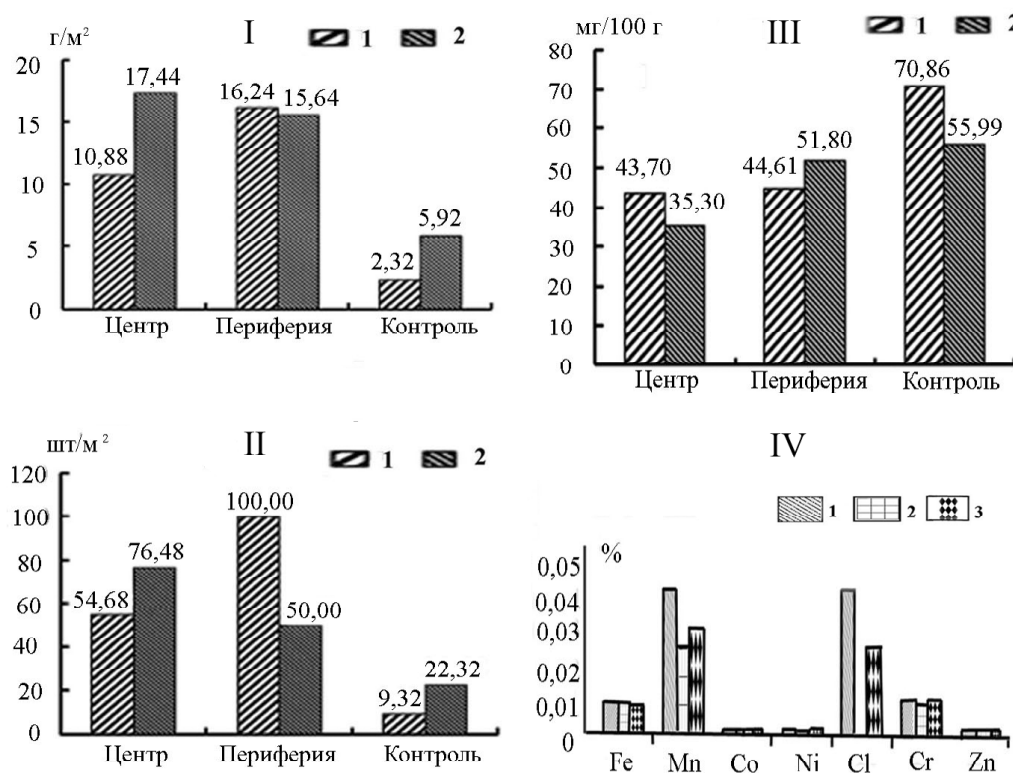


Рис. 4. Урожайность и количественные показатели черники и брусники в пределах Кенозерского тектонического узла [Старицын, Беляев, 2015]. I – Урожайность брусники (*V. vitis-idaea* L.) и черники (*V. Myrtillus* L.) на пробных площадях, II – количество плодов брусники (*V. vitis-idaea* L.) и черники (*V. Myrtillus* L.) на пробных площадях, III – содержание витамина С в бруснике и чернике на пробных площадях: 1 – брусника; 2 – черника; IV – содержание микроэлементов в плодах черники: 1 – центр; 2 – периферия; 3 – контроль

Fig. 4. Productivity and quantity of *V. myrtillus* L and *V. vitis-idaea* L. within the Kenozero tectonic node [Staritsyn, Belyaev, 2015]. I – Productivity of *V. vitis-idaea* L. and *V. myrtillus* L. at study plots: 1 – *V. vitis-idaea* L.; 2 – *V. myrtillus* L.; II – number of fruits of *V. vitis-idaea* L. and *V. myrtillus* L. at study plots: 1 – *V. vitis-idaea* L.; 2 – *V. myrtillus* L.; III – Content of vitamin C in *V. vitis-idaea* L. and *V. myrtillus* L. at study plots: 1 – *V. vitis-idaea* L.; 2 – *V. myrtillus* L.; IV – Content of microelements in fruits of *V. myrtillus* L.: 1 – Center; 2 – Peripherals; 3 – Control

ческого узла (см. рис. 4, III). От центра к периферии узла в плодах черники уменьшается содержание калия, магния, натрия, серы, фосфора, меди, никеля, хлора, хрома, цинка; возрастает количество кальция; не изменяется содержание железа (см. рис. 4, IV); содержание кремния и алюминия увеличивается от центра тектонического узла к периферии [Старицын, Беляев, 2015; Неверов, Беляев, 2018].

Биохимические показатели лишайников, произрастающих на территории тектонического узла и за его пределами, существенно различаются практически по всем показателям в течение всего вегетационного периода (рис. 5). Можно отметить, что в

направлении от центра узла к периферии выявлено снижение содержания фенольных соединений на 31%, аскорбиновой кислоты на 29%, зольности на 70%. По содержанию макро- и микроэлементов выявлены другие закономерности [Неверов, Беляев, 2018]. Наибольшее их содержание выявлено в центре тектонического узла, минимальное – на периферии. Различия колеблются от 12% (P) до 85% (Si). За пределами тектонического узла содержание микроэлементов выше, чем на периферии, но значительно меньше, чем в его центре 1% (P) до 80% (Ti). По некоторым элементам различие составляет менее 10% либо отсутствует (K, S, Mn). В среднем разли-

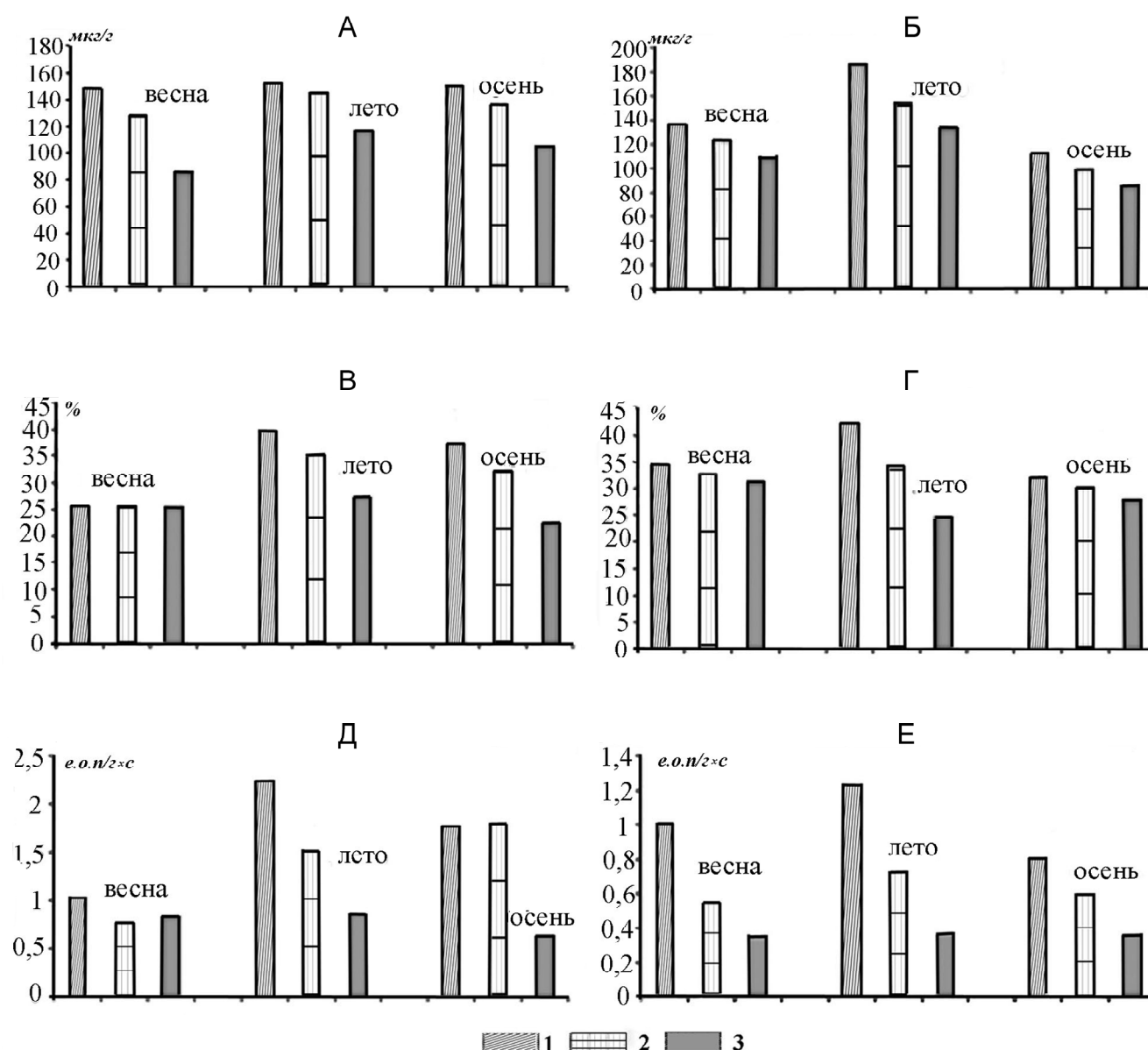


Рис. 5. Биохимические показатели в лишайниках *Cladonia Stellaris* и *Usnea Florida* [Belyaev et al., 2019]: содержание аскорбиновой кислоты в лишайниках (А – *Usnea Florida*, Б – *Cladonia Stellaris*); антиоксидантная активность водных экстрактов лишайников (В – *Usnea Florida*, Г – *Cladonia Stellaris*); каталазная активность (Д – *Usnea Florida*, Е – *Cladonia Stellaris*). 1 – тектонический узел; 2 – его периферия; 3 – контрольная площадка

Fig. 5. Biochemical indicators of *Cladonia Stellaris* and *Usnea Florida* lichens [Belyaev et al., 2019]: ascorbic acid content in lichens (А – *Usnea Florida*, Б – *Cladonia Stellaris*); antioxidant activity of water lichen extracts (В – *Usnea Florida*, Г – *Cladonia Stellaris*); catalase activity (Д – *Usnea Florida*, Е – *Cladonia Stellaris*). 1 – tectonic node; 2 – its periphery; 3 – control plot

чия между центром узла и контрольной площадкой составляет 48%. В центре тектонического узла в лишайнике *Usnea Florida* происходит накопление Si, Ca, Al, Mg, Fe, Na, Cu, Ti, Cr.

Полученные данные свидетельствуют о значительном накоплении металлов в центре тектонического узла. Известно, что у растений ответная реакция на стрессовый фактор проявляется, прежде всего, в изменении количественного состава веществ (т. н. антиоксидантов), которые имеют большое значение в окислительно-восстановительных процессах, среди которых главная роль отведена аскорбиновой кислоте и фенольным соединениям. Нами установлены высокие концентрации указанных соединений у лишайников, произрастающих непосредственно в центре узла. В целом же следует отметить, что влияние тектонических узлов на биоту на территории севера Русской плиты достаточно значительно и его необходимо учитывать. Сходные результаты были получены и для территории Горного Алтая [Шитов и др., 2009], что говорит об универсальности наблюдаемых процессов.

Плотность потока радона (ППР) на поверхности грунта в различных ландшафтных условиях по данным измерений изменялась от почти полного его отсутствия до относительно значимых величин в природном фоне территории (до 40 мБк/с м²). Максимальные значения ППР совпадают с периферий-

ной частью тектонического узла и с минимальными значениями статического «территориального минимума» атмосферного давления.

Выводы.

Наши данные свидетельствуют о наличии значимого воздействия тектонических узлов на окружающую среду за счет возникновения наведенных магнитотеллурических токов, глубинной дегазации и изменения структуры барического поля. В районе тектонических узлов формируются вертикальные сквозные каналы сложного межгеосферного взаимодействия, охватывающие литосферу, гидросферу, биосферу и атмосферу и, частично, ионосферу. В районах тектонических узлов формируются участки с аномальными характеристиками свойств окружающей среды как на количественном, так и на качественном уровнях. Причем эти изменения прослеживаются как по латерали, так и по вертикали. Несмотря на разную структуру узлов наблюдаются схожие закономерности изменения параметров окружающей среды. Полученные закономерности позволяют выделять более благоприятные территории для роста основных хозяйственно-ценных древесных пород и планировать их искусственное восстановление. Данные о более высоком содержании витаминов и микроэлементов в плодах брусники и черники, произрастающих на территориях тектонических узлов, позволяют планировать выбор территорий для их сбора.

Благодарности. Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН «Изучение межгеосферных процессов в районах тектонических структур и узлов их пересечений в геологических условиях древних платформ на примере Архангельской области» (№ АААА-А18-118012390305-7) и при финансовой поддержке РФФИ-Арктика, проект № 18-05-60024.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беляев В.В., Дурынин С.Н. О влиянии тектонических узлов на популяции некоторых лекарственных растений Архангельской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 5. С. 131–135.

Беляев В.В., Неверов Н.А., Старицын В.В., Бойцова Т.А. Свойства некоторых компонентов фитоценозов, произрастающих на территории тектонических узлов (Архангельская область) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 197–204.

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.

Коротков Ю.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Возможности электроразведки при поисках кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции // Вестник Поморского Университета. Сер. Естественные и точные науки. 2007. № 2(12). С. 26–34.

Кутинов Ю.Г., Беленович Т.Я. Современная геодинамическая модель Севера Евразии // Геофизика XXI столетие: 2006 год. Сборн. трудов геофиз. чтений им. В.В. Федынского. М., 2007. С. 119–124.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера»», 2004. 283 с.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Беляев В.В., Бурлаков П.С. Влияние тектонических нарушений (дегазация, наведенные токи,

вариации) севера Русской плиты на окружающую среду (на примере Архангельской области) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2(14). С. 77–89.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Гофаров М.Ю. Выявление индикационных признаков площадей перспективных на поиски коренных источников алмазов в условиях Архангельской алмазоносной провинции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 150–156.

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Гофаров М.Ю., Минеев А.Л. Современная тектоническая активность Кандакшского grabena по комплексу данных // Вестн. САФУ. Сер. Естеств. Науки. 2013. № 4. С. 21–29.

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: научн.-изд. центр «Социосфера», 2020. 378 с.

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.

Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Харламов В.А. Прецессия структурного блока земной коры // Проблемы взаимодействия геосфер. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: GEOS, 2009. С. 94–100.

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.

Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.

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: труды международной научно-практической конференции. М.: МГУ, 2009. С. 30–32.

Belyaev V.V., Bogolytsyn K.G., Brovko O.S., Kutinov Yu.G., Neverov N.A., Palamarchuk I.A., Boytsova T.A., Chukhchin D.G., Zhiltsova D.V., Gorshkova N.A. 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, no. 1, p. 5–11. DOI: 10.14712/23361964.2019.1.

Koren H. Cloud detection in MODIS images. NR note SAMBA/28/09, 2009, 33 p.

Neverov N.A., Belyaev V.V., Chistova Z.B., Kutinov Y.G., Staritsyn V.V., Polyakova E.V., Mineev A.L. Effects of geo-ecological conditions on larch wood variations in the North European part of Russia (Arkhangelsk region). *Journal of Forest Science*, 2017, no. 63(4), p. 192–197. DOI: 10.17221/102/2015-JFS.

Neverov N.A., Belyaev V.V., Chistova Z.B., Kutinov Y.G., Staritsyn V.V., Polyakova E.V., Mineev A.L., Tyukavina O.N. Influence of morphometric parameters of relief on macro- and microstructure of wood *Pinus silvestris* L. in the North of the Russian plain. *J. For. Sci.*, 2019, no. 65, p. 79–85. DOI: 10.17221/123/2018-JFS.

Tyukavina O.N., Neverov N.A., Klevtsov D.N. Influence of growing conditions on morphological and anatomical characteristics of pine needles in the northern taiga. *J. For. Sci.*, 2019, no. 65, p. 33–39. DOI: 10.17221/126/2018-JFS.

Электронные ресурсы

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: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_18155740_84330422.pdf (дата обращения 10.08.2020).

Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В., Минева А.Л. Цифровое моделирование рельефа для прогноза площадей перспективных на нефть и алмазы // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 1(24). URL: <https://oilgasjournal.ru> (дата обращения 10.08.2020).

Поступила в редакцию 29.01.2020

После доработки 14.06.2020

Принята к публикации 06.07.2020

Y.G. Kutinov¹, Z.B. Chistova², N.A. Neverov³

NEW DATA ON THE IMPACT OF TECTONIC NODES ON THE STATE OF THE ENVIRONMENT AT THE NORTH OF THE RUSSIAN PLATE

Effects of tectonic nodes on environmental components are investigated applying theoretical analysis of materials, digital relief modeling, and monitoring observations to study the quantitative characteristics of abiotic and biogenic processes within tectonic nodes. The structure of vegetation cover, changes in the yield of wild berries, mineral nutrients in soil and berries, physical and mechanical properties of wood, atmospheric pressure, oxygen concentration in the atmosphere, amount of precipitation and frequency of thunderstorms were studied within tectonic node areas. Nodes at the intersection of tectonic disturbances are also sources of induced vortex currents, changing the overall picture of geomagnetic field (a kind of magnetic dipoles) and parameters of the atmospheric pressure field. Combined with the inflow of fluids and deep-earth gases, they create local anomalous areas that affect the environment. Thus, within the tectonic nodes there are areas with abnormal quantitative and qualitative characteristics of environmental parameters.

The following phenomena are observed: (1) permanent «deficit» of atmospheric pressure (up to 25 mb) over tectonic nodes; (2) significantly different frequency of rainfall and its amount in the central and peripheral parts of the nodes; (3) earlier snow falls on the periphery of nodes, deeper snow cover and later snow melting compared with the background areas; (4) deep degassing area within the periphery of the nodes, as well as the higher frequency of thunderstorms and forest fires; (5) higher plant diversity within the nodes of tectonic dislocations; (6) fluctuating electrical conductivity of the air indicated by specific structure of clouds over the nodes.

Key words: degassing, variations of magnetic field, induced currents, atmospheric pressure

Acknowledgements. The study was carried out under the state assignment of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (the state registration no. AAAA-A18-118012390305-7) and the state registration no. AAAA-A18-118012390305-7 and financially supported by the Russian Foundation for Basic Research – Arctic (project no. 18-05-60024).

¹ N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; *e-mail:* .kutinov@fciarctic.ru

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere, Leading Scientific Researcher, Head of Laboratory, PhD. in Geology and Mineralogy; *e-mail:* zchistova@yandex.ru

³ N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere, Senior Scientific Researcher, PhD. in Agricultural Sciences; *e-mail:* na-neverov@yandex.ru

REFERENCES

- Belyaev V.V., Bogolytsyn K.G., Brovko O.S., Kutinov Yu.G., Neverov N.A., Palamarchuk I.A., Boytsova T.A., Chukhchin D.G., Zhiltsova D.V., Gorshkova N.A. Influence of tectonic faults on the conditions and properties of some components of a biogeocenosis in a subarctic area, *European Journal of Environmental Sciences*, 2019, vol. 9, no. 1, p. 5–11. DOI: 10.14712/23361964.2019.1.
- Belyaev V.V., Duryin S.N. O vliyaniy tektonicheskikh uzlov na populyatsii nekotorykh lekarstvennykh rasteniy v Arkhangel'skoi oblasti [About the tectonic outgrowth influence on the population of some medicinal plants in Arkhangel'sk region], *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo un-ta*, 2015, no. 5, p. 131–135. (In Russian)
- Belyaev V.V., Neverov N.A., Staritsyn V.V., Boitsova T.A. Svoystva nekotorykh komponentov fitotsenozov, proizrastayushchikh na territorii tektonicheskikh uzlov (Arkhangel'skaya oblast') [Properties of some components of phytocenoses on the territory of tectonic knots (Arkhangel'sk region)], *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo un-ta*, 2018, no. 4, p. 197–204. (In Russian)
- Gofarov M.Yu., Bolotov I.N., Kutinov Yu.G. Landshafty Belomorsko-Kuloiskogo plato: Tektonika, podstilayushchie porody, rel'ef i rastitel'nyi pokrov [Landscapes of the Belomorsk-Kuloy plateau: Tectonics, parent rocks, relief and vegetation]. Ekaterinburg, UrO RAN, 2006, 158 p. (In Russian)
- Hans Koren. Cloud detection in MODIS images. NR note SAMBA/28/09, 2009. 33 p.
- Korotkov Yu. V., Kutinov Yu. G., Chistova Z. B. Vozmozhnosti elektrorazvedki pri poiskakh kimberlitovykh tel Arkhangel'skoi almazonosnoi provintsii [Geoelectrics opportunities for prospecting of kimberlite bodies of the Arkhangel'sk diamondiferous province], *Vestnik Pomorskogo Un-ta. Ser. Estestvennye i tochnye nauki*, 2007, no. 2(12), p. 26–34. (In Russian)
- Kutinov Yu. G., Belenovich T. Ya. [The modern geodynamic model of the North of Eurasia], *Geofizika XXI stoletie: 2006 god. Sborn. trudov geofiz. chteniy im V.V. Fedynskogo* [Geophysics of the 21st century: 2006. Proceedings of the Geophysical Readings from V.V. Fedynsky], Moscow, 2007, p. 119–124. (In Russian)
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. Ierarkhicheskii ryad proyavlenii shchelochno-ul'traosnovnogo magmatizma Arkhangel'skoi almazonosnoi provintsii. Ikh otrazhenie v geologo-geofizicheskikh materialakh. [A hierarchical series of manifestations of alkaline-ultra-basic magmatism of the Arkhangel'sk diamond-bearing province. Their reflection in geological and geophysical materials] Arhangel'sk, OAO «IPP «Pravda Severa», 2004, 283 p. (In Russian)
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Belyaev V.V., Burlakov P.S. Vliyaniye tektonicheskikh narushenii (degazatsiya, navedennyye toki, variatsii) severa Russkoi plity na okruzhayushchuyu sredu (na primere Arkhangel'skoi oblasti) [The northern part of the Russian Plate: effects of the tectonic structures on the environment (case study of the Arkhangel'sk region)], *Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle*, 2009, no. 2(14), p. 77–89. (In Russian)
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Gofarov M.Yu. Vyyavlenie indikatsionnykh priznakov ploshchadei perspektivnykh na poiski korennykh istochnikov almazov v usloviyakh Arkhangel'skoi almazonosnoi provintsii [Allocation of the indication criteria of the areas perspective on searches of original sources in conditions of Arkhangel'sk diamonds provinces], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, no. 2, p. 150–156. (In Russian)
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Gofarov M.Yu., Mineev A.L. Sovremennaya tektonicheskaya aktivnost' Kandalakshskogo grabena po kompleksu dannykh [Current tectonic activity of the Kandalaksh graben according to a set of data], *Vestn. SAFU. Ser. Estestv. Nauki*, 2013, no. 4, p. 21–29. (In Russian)
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Polyakova E.V., Mineev A.L. Primeneniye tsifrovyykh modelei rel'efa (TsMR) dlya vydeleniya tektonicheskikh struktur drevnikh platform (na primere severo-zapada Russkoi plity) [Application of digital relief models (DEM) to identify the tectonic structures of ancient platforms (case study of the north-west of the Russian Plate)]. Penza, nauchn.-izd. centr «Sociosfera». 2020, 378 p. (In Russian)
- Neverov N.A., Belyaev V.V. Vliyaniye geoeekologicheskikh uslovii sredy na nekotorye vidy rastitel'nykh resursov Severa [The impact of geoeological environmental conditions on some plant resources of the North], *Evrasiyskoe nauchnoe obshcheyediniye*, 2018, no. 1(35), p. 225–228. (In Russian)
- Neverov N.A., Belyaev V.V., Chistova Z.B., Kutinov Y.G., Staritsyn V.V., Polyakov E.V., Mineev A.L. Effects of geo-ecological conditions on larch wood variations in the North European part of Russia (Arkhangel'sk region), *Journal of Forest Science*, 2017, no. 63(4), p. 192–197. DOI: 10.17221/102/2015-JFS.
- Neverov N.A., Belyaev V.V., Chistova Z.B., Kutinov Y.G., Staritsyn V.V., Polyakova E.V., Mineev A.L., Tyukavina O.N. Influence of morphometric parameters of relief on macro- and microstructure of wood *Pinus silvestris* L. in the North of the Russian plain, *J. For. Sci.*, 2019, no. 65, p. 79–85. DOI: 10.17221/123/2018-JFS.
- Shitov A.V., Voronkov V.G., Voronkova E.G. [On the study of the impact of geological processes on biological systems (case study of the Altai Mountains)], *Mnogoobrazie sovremennykh geologicheskikh processov i ikh inzhenerno-geologicheskaya ocenka: trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The variety of modern geological processes and their engineering-geological assessment: proceedings of the international research to practice conference]. Moscow, Mosk. gos. un-t, 2009, p. 30–32. (In Russian)
- Spivak A.A., Kishkina S.B., Loktev D.N., Kharlamov V.A. [Precession of a structural block of the Earth's crust] *Problemy vzaimodeystviya geosfer. Sbornik nauchnykh trudov IDG RAN* [Issues of the geosphere interaction. Collection of research papers of the Institute of Geosphere Dynamics of the RAS]. Moscow, GEOS, 2009, p. 94–100. (In Russian)
- Staritsyn V.V., Belyaev V.V. Urozhainost' i soderzhanie vitamina C v brusnike (*Vaccinium vitis-idaea* L.) i chernike (*Vaccinium myrtillus* L.) v predelakh Plesetskogo tektonicheskogo uzla. [Productivity and Vitamin C Content in Blueberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) and Cowberry (*Vaccinium Vitis-Idaea* L.) in the Plesetsk Tectonic Centre], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoj zhurnal*, 2015, no. 1(343), p. 78–84. (In Russian)
- Syvorotkin V.L. Glubinnaya degazatsiya Zemli i global'nye katastrofy. [Earth's deep degassing and global catastrophes] Moscow.: OOO «Geoinformcentr», 2002, 250 p. (In Russian)
- Tyukavina O.N., Neverov N.A., Klevtsov D.N. Influence of growing conditions on morphological and anatomical characteristics of pine needles in the northern taiga, *J. For. Sci.*, 2019, no. 65, p. 33–39. DOI: 10.17221/126/2018-JFS.
- Web-sources
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. Kompleksnaya model' protsessov mezhegeosfer'nogo vzaimodeystviya v tektonicheskikh uzlakh Severa Russkoi plity [Complex model of geospheres interaction processes]. *Elektronnoye nauchnoye izdanie Al'manah Prostranstvo i Vremya*, 2012, vol. 1, no. 1. (In Russian) URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_18155740_84330422.pdf (access date 10.08.2020).
- Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Polyakova E.V., Mineev A.L. Tsifrovoye modelirovaniye rel'efa dlya prognoza ploshchadei perspektivnykh na neft' i al'mazy [Digital relief simulation for prospecting the areas promising for oil and diamonds], *Aktual'nye problemy nef'ti i gaza*, 2019, no. 1(24). URL: <http://oilgasjournal.ru> (access date 10.08.2020). (In Russian)

Received 29.01.2020

Revised 14.06.2020

Accepted 06.07.2020