

МОРФОСТРУКТУРА ОНЕЖСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ДНА ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ БЕЛОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА И МОРФОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А. И. Трэгуб

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 10 сентября 2010 г.

Аннотация. В статье приведена характеристика морфоструктуры Онежского мегавала. Она получена в результате статистического анализа современного рельефа суши и прилегающей акватории Белого моря. Выводы о динамике развития современного рельефа сопоставлены с данными по тектонике и глубинному строению региона.

Ключевые слова: морфоструктура, статистические модели рельефа, морфометрический анализ, морфографический анализ, неотектоника, тектоника, геодинамика, Онежский полуостров, Белое море.

Abstract. In the article the character of Onezhsky megabank are presented. It obtained as result of statistic analysis of present relief of land and adjoin area of water of the White Sea. Conclusions about dynamic of development of present relief are comparison with tectonics and dip structure dates of region.

Key words: morphostructure, statistic models of relief, morphometric analysis, morphographic analysis, neotectonics, tectonics, geodynamics, Onezhsky peninsula, White Sea

Онежский полуостров и прилегающие акватории Белого моря характеризуются достаточно сложной тектоникой, но не отличаются высокой степенью изученности [1]. Вместе с тем, этот регион интересен перспективами обнаружения трубок взрыва и связанными с этим возможностями открытия месторождений алмазов. Сложные ландшафтно-климатические условия региона определяют важнейшую роль дистанционных методов его изучения, в том числе морфоструктурного анализа, основанного на использовании современных компьютерных технологий и методов математической статистики. Морфоструктурный анализ Онежского полуострова и прилегающих акваторий включал две составляющие – морфометрические и морфографические исследования. Морфометрия современного рельефа изучена на основе статистических моделей рельефа, которые базируются на представлении высоты земной поверхности как случайной величины [2]. Первые попытки такого анализа выполнены при проведении Космофотогеологического картирования в масштабе 1 : 1 000 000 (КФГК-500) Онежской площади и в связи с поисковыми работами на бокситы [3]. В качестве исходных материалов ис-

пользованы топографическая и батиметрическая карты масштаба 1 : 500 000. Выборка замеров, выполненных по равномерной представительной сети (25 замеров) в пределах окон осреднения квадратной формы площадью 25 км², позволила получить основные числовые характеристики распределения высот: математическое ожидание, дисперсию и коэффициент асимметрии. Для каждого из названных параметров составлены картографические модели. Карта математических ожиданий характеризует средние высоты рельефа, позволяет получить генерализованное представление о нем, выделить важнейшие морфологические элементы морфоструктуры.

Карта дисперсий оценивает среднюю величину разброса высот рельефа вокруг средних значений, позволяет охарактеризовать степень вертикального расчленения поверхности, или ее потенциальную энергию. Величина этой энергии рассматривается как показатель интенсивности суммарных вертикальных тектонических движений, действовавших с начала образования рельефа [4].

Карта асимметрии распределения высот характеризует отношение в пределах выборки количества высот больших, чем среднее значение, к количеству высот меньших, чем среднее значение. Такая карта дает представление об общей тенден-

ции развития рельефа, его месте в пределах геоморфологического цикла. Показатель асимметрии может иметь положительное, отрицательное или нулевое значение. В последнем случае рельеф находится на вершине геоморфологического цикла в стадии динамического равновесия между фазой расчленения и выравнивания. Если в рельефе преобладают высоты большие, чем среднее значение выборки, то это свидетельствует о том, что поверхность испытывает нарастающее вертикальное расчленение, увеличение запасов потенциальной энергии, связанное с активизацией тектонических поднятий. При преобладании высот меньших, чем среднее значение в выборке, можно говорить о фазе выравнивания рельефа, уменьшения его потенциальной энергии, что может быть связано с ослаблением поднятий и инверсией тектонического режима.

Таким образом, морфометрический анализ, основанный на использовании статистических моделей рельефа, позволяет получить важнейшие параметры морфоструктуры: ее морфологические очертания (карта математических ожиданий, или средних высот); распределение по площади запасов потенциальной энергии рельефа, или суммарной интенсивности вертикальных тектонических движений (карта дисперсий высот); состояние морфоструктуры, или тенденции в развитии вертикальных тектонических движений (карта показателей асимметрии распределения высот).

Главной морфологической особенностью территории, проявляющейся на карте средних высот, является ее разделение на три крупные морфоструктурные единицы, оси которых ориентированы в северо-западном направлении – СЗ 315° (рис. 1А). При этом центральное положение занимает полоса надводных и подводных подня-

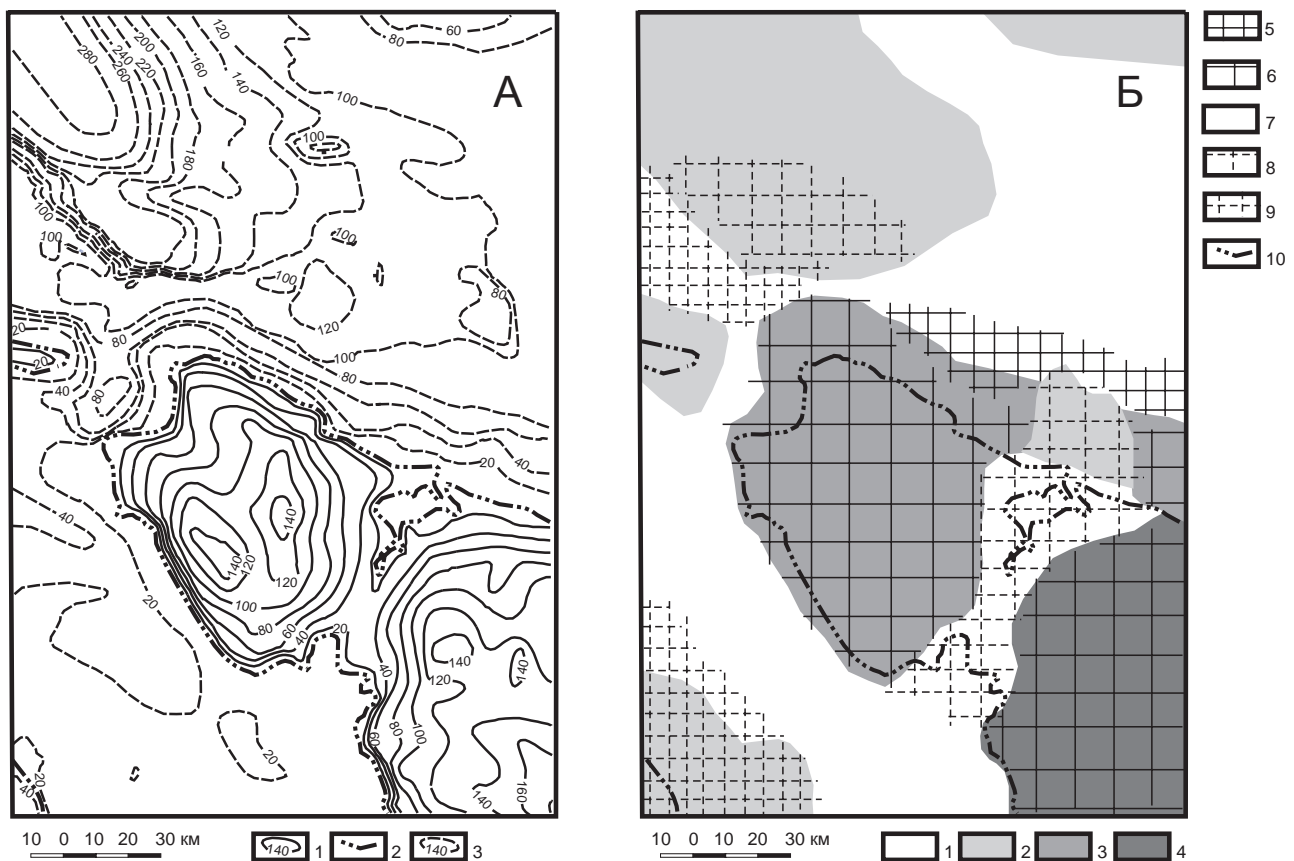


Рис. 1. А – Карта средних высот: 1 – изогипсы средних высот; 2 – береговая линия; 3 – изобаты средних глубин.

Б – Карта дисперсии и асимметрии распределения высот. Дисперсия высот: 1 – меньше 156; 2 – от 157 до 625; 3 – от 625 до 1400; 4 – больше 1401. Значения коэффициента асимметрии: 5 – меньше $-0,75$; 6 – от $-0,75$ до $-0,25$; 7 – от $-0,25$ до $+0,25$; 8 – от $+0,25$ до $+0,50$; 9 – больше $+0,50$; 10 – береговая линия

тий, объединяемых при неотектоническом районировании в Онежский мегавал [5], или Онежскую зону поднятий [1; 6]. Его ширина, как и ширина смежных прогибов, составляет около 60–70 км. Внутренняя структура мегавала неоднородна и образована относительно изометричными в плане поднятиями, разделенными линейными прогибами шириной 10–15 км. Оси прогибов ориентированы в направлении СВ 35°. В пределах исследованной территории мегавал образован тремя поднятиями. Его северо-западная часть сопоставляется с архипелагом Соловецких островов и прилегающей подводной частью, примерно ограниченной глубиной 80 м с северо-востока и глубиной 50 м с юго-запада. Центральная часть мегавала представлена Мяндозерским поднятием, ограниченным с северо-востока изобатой 90 м, а с юго-запада – 20 м. Третья, юго-восточная часть мегавала образована Солозерским поднятием. Необходимо отметить, что оси трех названных поднятий смещены друг относительно друга вдоль прогибов, разделяющих поднятия. Ось Соловецкого поднятия смещена в юго-западном направлении примерно на 25 км относительно оси Мяндозерской структуры, а ось последней сдвинута в том же направлении на величину около 20 км относительно оси Солозерского поднятия. Эти же закономерности прослеживаются и в прилегающих прогибах, которые при общем северо-западном простирании также фрагментированы на отдельные мульды, оси которых смещены относительно друг друга. Так, с юго-запада к Онежскому мегавалу примыкает прогиб Онежской губы (Онежский прогиб в неотектонической структуре по В. И. Макарову [1; 6]). Он характеризуется уплощенным днищем шириной около 60 км и глубиной до 50–60 м. В пределах исследованной территории по простиранию прогиба выделяются три мульды (см. рис. 1) шириной (по изобате 20 м) от 10 до 20 км. Оси мульд смещены друг относительно друга подобно поднятиям Онежского мегавала на величину примерно 20 км.

К северо-востоку от Онежского мегавала располагается прогиб Двинской губы (Кандалакшский прогиб в неотектонической структуре по В. И. Макарову [1; 6]). На изученной территории в нем выделяется две части. Северо-западная часть шириной около 70 км (по изобате 120 м) имеет относительную амплитуду примерно 140 м. Юго-восточная часть прогиба отличается уплощенным днищем и средними глубинами на уровне 80–100 м. Ось северо-западной части прогиба

смещена относительно оси юго-восточной его части в юго-западном направлении примерно на 25 км.

На карте дисперсии высот (рис. 1Б) наибольшими значениями потенциальной энергии рельефа обладает Солозерское поднятие. Дисперсия высот здесь находится в пределах от 1406,75 до 2500 (или по величине стандартного отклонения от 37,5 до 50 м/км²). На Мяндозерском поднятии она существенно меньше (изменяется по стандартному отклонению от 25 до 30 м/км²). На Соловецком поднятии стандартное отклонение не превышает 20 м/км². Для разделяющих поднятия прогибов эта величина меньше 10 м/км².

Для подводного рельефа прогиба Двинской губы энергия рельефа в северо-западной части изменяется от 12,5 до 25 м/км². На юго-восточной части она не превышает 12 м/км². Прогиб Онежской губы в поле энергии рельефа однороден. Величина стандартного отклонения высот здесь менее 10 м/км².

На карте асимметрии распределения высот (см. рис. 1Б) для юго-западной части Соловецкого поднятия Онежского мегавала значения коэффициента близки к нулю и изменяются от –0,25 до +0,25; для его северо-восточной части они имеют положительные значения (от +0,50 до +0,75). На Мяндозерском поднятии коэффициент асимметрии распределения высот отрицателен (от –1,00 до –0,75). Такие же значения установлены для Солозерского поднятия. В разделяющем поднятия прогибе показатель асимметрии распределения высот имеет положительные значения в интервале от +0,25 до +0,50. В прилегающих к валу прогибах показатель асимметрии распределения высот близок к нулевым значениям.

Таким образом, по морфометрическим показателям суммарные за новейший этап развития вертикальные движения для Онежского мегавала характеризуются наибольшими величинами поднятий в пределах Солозерской морфоструктуры, которая характеризуется тенденцией умеренного роста запасов потенциальной энергии рельефа. Мяндозерское поднятие с той же тенденцией роста потенциальной энергии обладает меньшими ее запасами (т. е. меньшими суммарными новейшими поднятиями). Наименее поднятая Соловецкая морфоструктура неоднородна по режиму движений. Северо-восточная ее часть испытывает умеренные погружения, а юго-западная находится в состоянии динамического равновесия, при котором имеющиеся небольшие запасы потенциаль-

ной энергии рельефа сохраняют свою величину постоянной. Для разделяющих поднятия Онежского мегавала прогибов характерен режим умеренных и слабых погружений.

Северо-западная часть прогиба Двинской губы на фоне умеренных погружений характеризуется динамическим равновесием в состоянии потенциальной энергии, а его юго-восточная часть испытывает стабильные слабые погружения, равно как и весь прогиб Онежской губы.

Главной особенностью приведенного варианта морфометрического анализа является то, что он позволяет выделить пликативную составляющую морфоструктуры и оценить только вертикальную компоненту тектонических движений. Эту часть

информации о морфоструктуре региона можно в существенной степени восполнить с помощью морфографического анализа, основанного на изучении планового распределения элементов и форм рельефа земной поверхности, на выделении в нем структурных линий, отвечающих ребрам рельефа [7]. В настоящей работе к структурным линиям относятся линии перегибов поверхности средних высот рельефа, линейные зоны с большими значениями градиентов изменения средних высот, границы резкого изменения дисперсии высот или показателей асимметрии их распределения.

Характеристика блоковой структуры территории различными авторами трактуется несколько по-разному (рис. 2А) [8–12], в связи с чем выде-

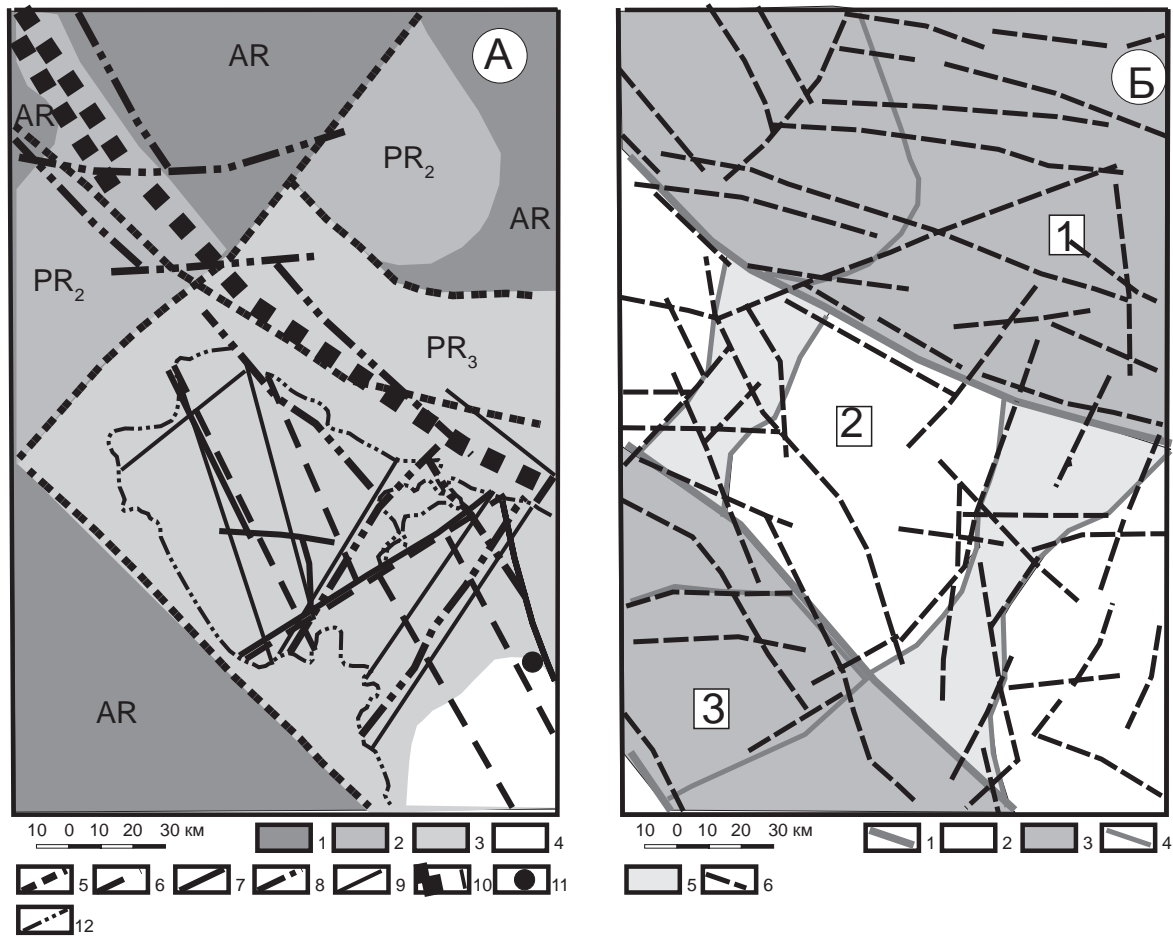


Рис. 2. А – Тектоническая схема. Блоки фундамента, сложенные породами: 1 – архея; 2 – среднего протерозоя. Блоки фундамента, перекрытые слабо дислоцированными породами чехла: 3 – рифея-венда, 4 – рифея, венда, девона и карбона. Разломы по данным различных авторов: 5 – Р. И. Соколову и др., 1995 [8]; 6 – С. Л. Костюченко, 1995 [9]; 7 – В. П. Грибу и др., 1980 [10]; 8 – Б. А. Ассиновской и др., 1996 [11]; 9 – И. Н. Рыжову, 1988 [5]; 10 – ось Кандакшско-Архангельской сейсмогенной зоны с максимальными амплитудами до 4 баллов и до 6 баллов (двойная линия), по Ф. Н. Юдахину, 2000 [12]; 11 – трубки взрыва; 12 – береговая линия.

Б – Морфоструктурная схема: 1 – границы морфоструктур первого порядка. Морфоструктуры первого порядка: 2 – поднятия; 3 – прогибы. Цифры в квадратах: 1 – прогиб Двинской губы; 2 – Онежский мегавал; 3 – прогиб Онежской губы; 4 – границы структур второго порядка; 5 – прогибы между поднятиями Онежского мегавала; 6 – структурные линии

ляемые разломы часто не совпадают по своему пространственному положению. Причиной этому является, по-видимому, отсутствие достаточной надежной методики их выделения. Вместе с тем, отмечается главенствующая роль разломов северо-западного и северо-восточного простираний, определяющих основные особенности геологического строения. В структуре фундамента Онежский мегавал выделяется как относительно опущенная грабенообразная полоса северо-западной ориентировки, образованная средне- и верхнепротерозойскими породами и ограниченная блоками, сложенными археем (см. рис. 2А). При этом все основные элементы морфоструктуры территории достаточно отчетливо различаются в ее геологическом строении (рис. 2Б). Соловецкому поднятию соответствуют образования среднего протерозоя, Мяндозерской морфоструктуры – область распространения мощных рифей-вендских отложений, а на большей части площади Солозерского поднятия разрез чехла наращивается палеозойскими породами. Наиболее погруженная северо-западная часть прогиба Двинской губы сформирована на архейском основании, а его юго-восточное продолжение сопоставляется с областью распространения в фундаменте среднепротерозойских пород. Достаточно высокая степень корреляции наблюдается между основными разломными зонами территории и структурными линиями (см. рис. 2Б), что предполагает возможность использовать эти линии в комплексе с другими данными для уточнения пространственного положения разломных зон, а также их инфраструктуры.

Подобные соотношения свидетельствуют о тесной генетической связи блоковой структуры фундамента с морфоструктурой региона. Эта связь обеспечивается, прежде всего, значительным консерватизмом сети разломов, формирующих своеобразную структурную раму, которая, несмотря на многократную смену направлений движений, способствует сохранению общего структурного плана территории.

В глубинной модели территории по сейсмическим данным обособлены три слоя земной коры с различными реологическими свойствами [1, 13]. Верхний слой мощностью около 12 км отличается резкой изменчивостью скоростей упругих волн (от 5,4 до 6,5 км/с при средних значениях около 6 км/с). Такая его особенность, по-видимому, объясняется, с одной стороны, неоднородностью вещественного состава, обусловленного сохране-

нием реликтовой структуры коллизионного этапа, а с другой – резким преобладанием хрупких деформаций в условиях относительно низких температур и давлений плитной стадии развития платформы. Онежский мегавал расположен в пределах зоны аномально низкой мощности верхнего слоя – от 5 до 10 км. Эта зона в целом имеет ширину около 80 км и ориентирована в северо-восточном направлении. Вдоль северо-восточной границы мегавала мощность верхнего слоя резко увеличивается до 10–15 км. Важно отметить, что вдоль этой границы проходит ось сейсмогенной зоны с магнитудами землетрясений от 4 до 6 и более баллов [12].

Промежуточный слой земной коры, средняя мощность которого в пределах территории составляет около 10 км, характеризуется скоростями сейсмических волн от 6 до 6,8 км/с при преобладающих средних значениях 6,5 км/с. В области Онежского мегавала наблюдается плавное уменьшение мощности в северо-восточном направлении (до 7,5 км в прогибе Двинской губы) и ее такое же плавное возрастание в юго-западном направлении (до 12 км в пределах Онежской губы). Важным отличительным свойством промежуточного слоя является наличие в нем большого количества волноводов и скоростных аномалий. Эти особенности можно связать со значительной расслоенностью и возможным развитием поверхностей горизонтальных срывов (*detachment fault*). Промежуточный слой в реологическом отношении занимает, вероятно, переходное положение, где, наряду с хрупкими деформациями, начинают в возрастающей степени проявляться пластические деформации.

Нижний слой коры в пределах региона обладает мощностью от 10 до 15 км и характеризуется скоростями упругих волн от 6,5 до 7,5 км/с. Его важной особенностью является распространение высокоскоростных образований, что может быть объяснено геодинамическим влиянием мантии [12]. Для нижнего слоя, по-видимому, основное значение имеют пластические деформации, зарождение которых связано еще с процессами нагнетания корового вещества на коллизионной стадии. В пределах описываемой территории выделяется полоса северо-западного простирания с пониженной (менее 10 км) мощностью нижнего слоя коры. Пространственно она совмещается с Онежским мегавалом. В прилегающих к мегавалу морфоструктурах мощность нижней коры возрастает в среднем до 12,5 км.

В рельефе подошвы коры Онежскому мегавалу соответствует выступ с пологими бортами и глубиной залегания поверхности Мохоровичича около 38 км [9]. К северо-востоку и юго-западу, в сторону смежных прогибов, глубина залегания подошвы коры увеличивается до 40–42 км со средним градиентом 40–80 м/км.

Таким образом, основные элементы морфоструктуры региона коррелируются с неотектоническими структурами, находят отражение в блоковом строении фундамента, обладают отличительными признаками на уровне верхнего, промежуточного и нижнего слоев земной коры, а также в рельефе подошвы коры. Закономерное расположение морфоструктур – чередование зон линейных прогибов и валов, в целом конформная такому чередованию структура поверхности Мохо, а также отдельных слоев коры позволяет предполагать образование основных элементов морфоструктуры Онежского полуострова и дна прилегающей акватории по механизму литосферной (коровой) складчатости [14]. При этом обращает на себя внимание сокращение мощности слоев коры в замках антиформ (Онежский мегавал) и ее возрастание в замках синформ (смежные прогибы). Эта особенность обуславливает возможность рассматривать складки не как складки продольного изгиба, а, скорее всего, как складки поперечного изгиба, образовавшиеся преимущественно при вертикальном или близком к вертикальному направлению приложения сил и компенсационному характеру тектонического течения. Такой вывод подтверждается определенной автономностью в режиме вертикальных движений отдельных частей Онежского мегавала и смежных с ним прогибов и отмеченным смещением их осей, которое указывает на наложенный характер латеральной составляющей тектонического течения. Несомненно, эти обстоятельства необходимо учитывать при разработке соответствующих геодинамических моделей внутриплитной тектоники древних платформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдахин Ф. Н. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы / Ф. Н. Юдахин, Ю. К. Щукин,

В. И. Макаров. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 300 с.

2. Порядин В. С. Стохастические модели в морфометрическом анализе / В. С. Порядин. – М. : Недра, 1985. – 152 с.

3. Трегуб А. И. Неотектоническая структура Онежской площади и ее соотношение с палеотектонической структурой среднего карбона и блоковой структурой фундамента / А. И. Трегуб [и др.]. – Деп. ВИНТИ – 874-В93, 1993. – 24 с.

4. Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование / А. И. Спиридонов. – М. : Недра, 1974. – 184 с.

5. Рыжов И. Н. Неотектоника Европейского Севера СССР / И. Н. Рыжов. – Л. : Наука, 1988. – 92 с.

6. Макаров В. И. Об активных разломах и их рельефообразующей роли на Русской платформе / В. И. Макаров // Геоморфология. – 1999. – № 3. – С. 39–41.

7. Ласточкин А. Н. Морфодинамический анализ / А. Н. Ласточкин. – Л. : Недра, 1987. – 255 с.

8. Соколов Р. И. Геологическая карта России и прилегающих территорий. Масштаб 1 : 10 000 000 / Р. И. Соколов, Б. Г. Лопатин, И. М. Гашева. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1995.

9. Костюченко С. Л. Структура и тектоническая модель земной коры Мезенской синеклизы по результатам комплексного геолого-геофизического изучения / С. Л. Костюченко // Геология и охрана недр. – 1995. – № 35. – С. 2–7.

10. Геологическая карта Архангельской области. Масштаб 1 : 1 000 000 / ред. В. П. Гриб. – Архангельск, 1980.

11. Ассиновская Б. А. Карта активных разломов северной части Восточно-Европейской платформы / Б. А. Ассиновская [и др.] ; под ред. В. Г. Трифонова. – М., 1996.

12. Юдахин Ф. Н. Особенности проявления сейсмичности на территории Балтийского щита и прилегающих к нему площадей / Ф. Н. Юдахин // Геологической службе России 300 лет : тез. докл. Междунар. геофизической конференции. – СПб. : ВИГР – Рудгеофизика, 2000. – С. 61–62.

13. Краснопевцева Г. В. Объемная глубинная модель земной коры Восточно-Европейской платформы по данным региональных сейсмических исследований / Г. В. Краснопевцева, Ю. К. Щукин // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 10. – С. 73–84.

14. Лобковский Л. И. Современные проблемы геотектоники и геодинамики / Л. И. Лобковский, А. М. Никишин, В. Е. Хаин. – М. : Научный мир, 2004. – 612 с.

Воронежский государственный университет
А. И. Трегуб, профессор кафедры общей геологии
и геодинамики
tregubai@yandex.ru
Тел. 8 (473) 220-83-79

Voronezh State University
A. I. Tregub, Professor of Chair of Geology and Geodynamic
tregubai@yandex.ru
Tel. 8 (473) 220-83-79